

ひこのような評価を行なうことができる情報再生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、AV機器やパーソナルコンピュータなどにおいて、HDD（ハードディスクドライブ）、光ディスクドライブあるいは光磁気ディスクドライブなどの、記録媒体に記録されたデジタル情報を再生することができきる装置が広く利用されている。

【0003】図1は、従来の光ディスクドライブ900の部分構成を示す。光ディスク1からの反射光は、光学ヘッド2により再生信号に変換される。再生信号は波形成器3により波形成形された後、コンパレータ4

において2値化される。コンパレータ4のしきい値は、通常、コンパレータ4から出力される2値化信号の積分結果が0となるようにフィードバック制御される。

【0004】光ディスクドライブ900では、PLL（phase locked loop）回路によって再生信号に同期するクロック信号（再生クロック信号）が生成される。再生クロック信号を生成するために、位相比較器5は、コンパレータ4から出力された2値化信号と、VCO（電圧制御発振器）7から出力されるクロック信号との位相差を検出する。検出された位相誤差はLPF（ローパスフィルタ）6によって平均化処理され、このLPF6からの出力に基づいてVCO7の制御電圧が設定される。このようにしてVCO7の制御電圧（VCO7の発振周波数）は、位相比較器5から出力される位相誤差が常に0になるようにフィードバック制御され得る。これにより、VCO7によって再生信号と同期したクロック信号を出力させることが可能である。このようなPLL回路を用いけば、例えばディスクが偏心を有している場合などにおいても、安定して再生信号に同期したクロック信号を抽出することができる。

【0005】再生クロック信号は、記録符号（デジタル情報）が1か0かを判断するために用いられる。より具体的には、再生クロック信号によって規定される窓幅（ウィンドウ幅）内にコンパレータ4の検出パルス（すなわち、コンパレータ4から出力される2値化信号）におけるしきい値を超える信号部分）が存在するかどうかを検出することによってデジタル情報を再生することができ

る。

【0006】ただし、再生信号の符号間干渉や記録マージクの歪あるいは回路ノイズやPLL回路の制御遅延等によって、コンパレータ4から出力される検出パルスが再生クロックのウィンドウ幅を外れてしまい、それによって誤りが発生する場合がある。このようなコンパレータ4の検出パルスと再生クロックとの間の時間のずれは「ジッタ」と呼ばれている。

【0007】上述のようにしてデジタル情報を再生する場合、ジッタの分布を求めることで再生信号品質（誤り率）を検出することができる。このジッタの分布は、

平均値が0の正規分布をなすと仮定することができ、この場合に、誤り率 $P(\sigma/Tw)$ は、ジッタ分布の標準偏差 σ を用いて以下の式(1)および(2)で表される。

【0008】

【数1】

$$P(\sigma/Tw) = 2\operatorname{erfc}\left(\frac{Tw/2}{\sigma}\right) \quad \dots(1)$$

【0009】

【数2】

$$\operatorname{erfc}(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_z^{\infty} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \quad \dots(2)$$

【0010】ここで、 σ は正規分布と仮定したジッタの分布の標準偏差であり、Twはウィンドウ幅である。

【0011】図2に示すグラフから、ジッタの標準偏差の増加にしたがって誤り率（ビットエラーレートBER）が増加することがわかる。再生信号のジッタは、TIA（タイム・インターバル・アナライザ）を用いて実際に測定することができる。このため、現実的に誤りが発生しない場合であっても、信号の品質をジッタの標準偏差 σ/Tw で評価することができ、これにより誤りの発生しやすさを予測することができる。このようにしてジッタの標準偏差を測定すれば、例えばドライブの性能、記録媒体の性能、光学ヘッドなどの性能を確認および検査することができ、また、ジッタの標準偏差が低下するように等化器のパラメータなどを調整することで、より安定した再生動作を行なうことが可能である。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】一方、上述のようにコンパレータ4から出力される2値化信号から直接的にデジタル情報を再生する方法とは異なり、最速復号方式によってデジタル情報を再生する方法が知られている。

この最速復号方式としては、例えばPRML（Partial Response Maximum Likelihood）方式が知られている。PRML方式では、記録密度が高い場合において符号間干渉が起こることを考慮した上でデータの記録および再生が行なわれている。より具体的には、記録媒体から再生された信号は、逆形等化器やデジタルフィルタなどを用いて所定の周波数特性を持つようにパルスレートをポンプ等化された、2値化データに復号される。PRML方式では、S/N（信号対雑音）の低い再生信号や、符号間干渉の影響が比較的大きい再生信号からであっても、誤り率の低いデータを復号することが可能である。

【0013】このような最速復号方式では、再生信号に基づいて、最も確からしい状態遷移列を選択することにSn(nは状態数)に至る状態遷移の値からしさを表す量は式(3)で定義される。

【0014】

(4)

【数3】

$$L^a = - \sum_{j=1}^n (y_j - \text{level}_j)^2 \quad \dots(3)$$

【0015】ここで、時刻iにおける再生信号（デジタルサンプリングデータ）の値、leveliは期待される理想的な再生信号の値である。

【0016】最速復号回路では、上記の式(3)で求められる値からしさを表す量となるような状態遷移列が選択される。最速復号方式を用いる場合、上述の時刻kごとに検出パルスがウィンドウ幅に入っているか否かで“1”と“0”とを判断する方法とは異なり、時刻kごとに再生クロックでサンプリングされたデータyiを用いてユークリッド距離 $(y_i - \text{level}_i)^2$ を求めており、このユークリッド距離に基づいて復号が行なわれる。このため、最速復号方式での復号結果は、過去のサンプリングされた再生信号のサンプル値 y_i にも影響されることとなる。

【0017】このような最速復号方式を用いる場合、ジッタの標準偏差 σ が同じ値の再生信号であっても、誤りが発生する場合と発生しない場合とがある。このため、再生信号のジッタの標準偏差 σ を用いて、最速復号によって得られる2値化結果の誤り率を予想することは困難である。従って、最速復号方式により適した誤り率の予測方法（信号品質評価方法）を用いる必要がある。

【0018】最速復号方式で再生された信号の品質を評価する方法は、例えば公開平10-21651号公報に記載されている。この公報に記載の装置では、ユークリッド距離が最小となる2つのパス（状態遷移列）の尤度の差を求め、この差を統計処理することによって信号品質を評価している。

【0019】より具体的には、時刻kにおいて同一の状態を取る2つのパスの尤度の差を求めるために、時刻k-1において異なる2つの状態（各パスにおける時刻k-1での状態）のそれぞれにおける既に最尤と判断されたパス（生き残りパス）のブランドメトリックの累積値が用いられている。しかしながら、時刻k-1でのブランドメトリックの累積値を用いる場合、時刻k-1以前のパスとして、実際に尤度を調べたいパスとは異なるパスを誤って選択している場合などにおいて、所望でないブランドメトリックの累積値を用いてしまう可能性がある。上記公報には、ユークリッド距離が最小となる2つのパスを選択して、これらの尤度の差を求めることは記載されているものの、その2つのパスについての実際に求めたい尤度の計算をより確実に行なうための方法については特に記載されていない。

【0020】本発明は、上記課題を鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、最速復号による2値化結果の誤り率との相関のある指標を用いた再生信号品質の評価方法および評価装置を提供することにある。

【0021】

【課題を解決するための手段】本発明の再生信号品質評価方法は、時刻k-j（kは3以上の整数、jは2以上の整数）における第1状態Si-1から時刻kにおける第2状態Siへと遷移するn（nは2以上の整数）通りの状態遷移列のうちから最も確からしい状態遷移列を選択する最速復号方式によって再生信号の復号を行なう場合における、前記復号された再生信号の品質評価方法であって、前記時刻k-jから時刻kまでの所定の期間jにおける前記n通りの状態遷移列を規定する前記第1状態Si-1と前記第2状態Siとの所定の組み合わせを検出する工程と、前記検出された前記所定の組み合わせによって規定される前記n通りの状態遷移列のうちの最も確からしい第1の状態遷移列の前記所定の期間jにおける状態遷移の確からしさを表す指標をPaとし、2番目に確からしい第2の状態遷移列の前記所定の期間jにおける状態遷移の確からしさを表す指標をPbとすると、|Pa-Pb|を用いて前記時刻k-jから時刻kまでの復号結果の信頼性を判断する工程とを包含する。

【0022】ある好ましい実施形態において、前記Paは、前記所定の期間jにおける前記第1の状態遷移列が示す期待値と実際のサンプル値との差に基づいて規定され、前記Pbは、前記所定の期間jにおける前記第2の状態遷移列が示す期待値と前記実際のサンプル値との差に基づいて規定される。

【0023】ある好ましい実施形態において、前記Paは、前記所定の期間jにおける、前記第1の状態遷移列が示す時刻k-jから時刻kまでの期待値 $y_{k-1}, \dots, y_{k-j}, \dots$

y_{k-1}, y_k との差の2乗の累積値に対応し、前記Pbは、前記第2の状態遷移列が示す時刻k-jから時刻kまでの期待値 $m_{k-1}, \dots, m_{k-j}, m_k$ と前記実際のサンプル値 $y_{k-1}, \dots, y_{k-j}, y_k$ との差の2乗の累積値に対応する。

【0024】ある好ましい実施形態において、 $n=2$ である。

【0025】ある好ましい実施形態において、前記第1の状態遷移列と前記第2の状態遷移列とのユークリッド距離は最小値を有する。

【0026】ある好ましい実施形態において、前記|Pa-Pb|を複数回測定することによって、前記復号結果の信頼性のパラッキを判断する工程をさらに包含する。

【0027】ある好ましい実施形態において、前記信頼性のパラッキは、前記|Pa-Pb|の分布の標準偏差を用いて示される。

【0028】ある好ましい実施形態において、前記信頼性のパラッキは、前記|Pa-Pb|の標準偏差と前記|Pa-Pb|の分布の平均値とを用いて示される。

【0029】ある好ましい実施形態において、前記|P

a-Pb|が所定の値を超える頻度を検出することによって前記復号結果の信頼性のパラジキを判断する。

【0030】ある好ましい実施形態において、記録符号の最小極性反転間隔が2であり、かつ、PR(C0,C1,C0)等化された再生信号を復号することを特徴とする。

【0031】ある好ましい実施形態において、記録符号の最小極性反転間隔が2であり、かつ、PR(C0,C1,C2,C1,C0)等化された再生信号を復号することを特徴とする。

【0032】ある好ましい実施形態において、記録符号の最小極性反転間隔が2であり、かつ、PR(C0,C1,C2,C1,C0)等化された再生信号を復号することを特徴とする。

【0033】ある好ましい実施形態において、前記|P a-Pb|を計算するとき、前記実際のサンプル値の2乗の計算を行なわないことを特徴とする。

【0034】本発明による情報再生装置は、再生信号の振幅値を調整するゲインコントローラと、所定の等化特性と前記再生信号を波形整形する波形等化器と、前記再生信号と同期がとれた再生クロックを生成する再生クロック生成回路と、前記再生信号を前記再生クロックでサンプリングを行なうことによってサンプリングデータを生成し、前記サンプリングデータから最も確からしいデジタル情報を復号する最尤検出器と、前記最尤検出器において最も確からしいと判断された第1の状態遷移列の所定の期間における状態遷移の度からしさを表す指標をPaとし、2番目に確からしい第2の状態遷移列の前記所定の期間における状態遷移の度からしさを表す指標をPbとすると、|Pa-Pb|を算出す*

Level₁=b_{1,3}+2b_{1,2}+2b_{1,1}+(4)

【0042】ここでkは時刻を表す整数、vは0~6までの整数である。PR(1,2,2,1)等化の場合、記録符号の組み合わせに応じて、理想的なサンプル値(期待値)が0~6までの7通りの値(Level₁)を取り得る。

【0043】次に、記録符号の状態の遷移について説明する。時刻kでの状態をS(b_{1,3},b_{1,2},b_{1,1})とし、時刻k-1での状態をS(b_{1,3},b_{1,2},b_{1,1})とする。時刻k-1

★差分メトリック演算器とを備える。

【0035】ある好ましい実施形態において、前記波形等化器とは異なる所定の等化特性となるように波形整形を行なう追加の波形等化器を更に備え、前記再生クロックは、前記追加の波形等化器によって波形整形された再生信号から生成される。

【0036】【発明の実施の形態】以下、本発明による再生信号品質の評価方法および情報再生装置の実施の形態を説明する。

【0037】以下、本発明の実施形態にかかる再生信号品質の評価方法について説明する。以下に説明する形態において、記録符号としては、(1,7)RL変調方式などに従って規定された最小極性反転間隔が2の符号が用いられる。すなわち、記録符号は0または1が必ず2以上連続する。また、記録系の周波数特性と再生系の周波数特性とが、全体としてPR(1,2,2,1)等化特性を示すように設定されているPRML方式を利用して復号を行う。以下、より具体的な復号手順について説明する。

【0038】記録符号(0または1のいずれか)を以下のように表記する。

【0039】

現在の記録符号 : b₁
1時刻前の記録符号 : b_{1,1}
2時刻前の記録符号 : b_{1,2}
3時刻前の記録符号 : b_{1,3}
【0040】PR(1,2,2,1)等化されている場合の再生信号の理想的な値をLevel₁とすると、Level₁は以下の式(4)で表される。

【0041】

Level₁=b_{1,3}+2b_{1,2}+2b_{1,1}+(4)

【0042】ここでkは時刻を表す整数、vは0~6までの整数である。PR(1,2,2,1)等化の場合、記録符号の組み合わせに応じて、理想的なサンプル値(期待値)が0~6までの7通りの値(Level₁)を取り得る。

【0043】次に、記録符号の状態の遷移について説明する。時刻kでの状態をS(b_{1,3},b_{1,2},b_{1,1})とし、時刻k-1での状態をS(b_{1,3},b_{1,2},b_{1,1})とする。時刻k-1

最小反転間隔2とPR(1,2,2,1)の制約から定まる状態遷移表

| 時刻k-1での状態 S(b _{1,3} ,b _{1,2} ,b _{1,1}) | 時刻kでの状態 S(b _{1,3} ,b _{1,2} ,b _{1,1}) | b ₁ /Level ₁ |
|---|---|------------------------------------|
| S(0,0,0) | S(0,0,0) | 0/0 |
| S(0,0,0) | S(0,0,1) | 1/1 |
| S(0,0,1) | S(0,1,1) | 1/3 |
| S(0,1,1) | S(1,1,0) | 0/4 |
| S(0,1,1) | S(1,1,1) | 1/5 |
| S(1,0,0) | S(0,0,0) | 0/1 |
| S(1,0,0) | S(0,0,1) | 1/2 |
| S(1,1,0) | S(1,0,0) | 0/3 |
| S(1,1,1) | S(1,1,0) | 0/5 |
| S(1,1,1) | S(1,1,1) | 1/6 |

【0045】簡単のために、時刻kでの状態S(0,0,0)をS₀、状態S(0,1)をS₁、状態S(0,1,1)をS₂、状態S(1,1)をS₃、状態S(1,1,0)をS₄、状態S(1,0,0)をS₅、というように表記する。時刻k-1から時刻kまでの期間(再生クロックの1周期Tに対応する時間)に生じ得る状態遷移は図3に示す状態遷移図で表され、また、これを時間軸に関して展開すると図4に示すトレリス図が得られる。

【0046】ここで、時刻kでの状態S₀と時刻k-5での状態S₀とに注目する。図5は、状態S₀と状態S₀との間で取り得る2つの状態遷移列を示している。取り得る状態遷移列の一方をパスAとすると、パスAは状態S₀、S₀、S₀、S₀、S₀、S₀と遷移し、他方の状態遷移列をパスBとするとパスBは状態S₀、S₁、S₂、S₃、S₄、S₅と遷移する。なお、図4および図5では、状態遷移ごとに(記録符号/Level₁)が示されているが、Level₁は-3~3までの7つの値を取るものとして示しており、-3~3のそれぞれが上記のLevel₁の0~6のそれぞれに対応している。

【0047】このように、時刻k-5での状態がS₀であり、かつ、時刻kでの状態がS₀であるような場合には、上述のパスAまたはパスBのいずれかを遷移するものと推定される。すなわち、時刻k-7から時刻kまでの復号データ(C_{0,7},C_{0,6},C_{0,5},C_{0,4},C_{0,3},C_{0,2},C_{0,1},C₀)=(0,0,0,x,x,0,0)となる復号結果(xは0または1)が得られる。

【0048】次に、時刻k-5から時刻kまでの復号データ(C_{0,7},C_{0,6},C_{0,5},C_{0,4},C_{0,3},C_{0,2},C_{0,1},C₀)=(0,0,0,x,x,0,0)となる復号結果(xは0または1)が得られる。

Pa=(y_{1,4}-0)²+(y_{1,3}-0)²+(y_{1,2}-0)²+(y_{1,1}-0)²+(y_{1,0}-0)²+(y_{1,-1}-0)²+(y_{1,-2}-0)²+(y_{1,-3}-0)²+(y_{1,-4}-0)²+(y_{1,-5}-0)²+(y_{1,-6}-0)²+(y_{1,-7}-0)²+(y_{1,-8}-0)²+(y_{1,-9}-0)²+(y_{1,-10}-0)²+(y_{1,-11}-0)²+(y_{1,-12}-0)²+(y_{1,-13}-0)²+(y_{1,-14}-0)²+(y_{1,-15}-0)²+(y_{1,-16}-0)²+(y_{1,-17}-0)²+(y_{1,-18}-0)²+(y_{1,-19}-0)²+(y_{1,-20}-0)²+(y_{1,-21}-0)²+(y_{1,-22}-0)²+(y_{1,-23}-0)²+(y_{1,-24}-0)²+(y_{1,-25}-0)²+(y_{1,-26}-0)²+(y_{1,-27}-0)²+(y_{1,-28}-0)²+(y_{1,-29}-0)²+(y_{1,-30}-0)²+(y_{1,-31}-0)²+(y_{1,-32}-0)²+(y_{1,-33}-0)²+(y_{1,-34}-0)²+(y_{1,-35}-0)²+(y_{1,-36}-0)²+(y_{1,-37}-0)²+(y_{1,-38}-0)²+(y_{1,-39}-0)²+(y_{1,-40}-0)²+(y_{1,-41}-0)²+(y_{1,-42}-0)²+(y_{1,-43}-0)²+(y_{1,-44}-0)²+(y_{1,-45}-0)²+(y_{1,-46}-0)²+(y_{1,-47}-0)²+(y_{1,-48}-0)²+(y_{1,-49}-0)²+(y_{1,-50}-0)²+(y_{1,-51}-0)²+(y_{1,-52}-0)²+(y_{1,-53}-0)²+(y_{1,-54}-0)²+(y_{1,-55}-0)²+(y_{1,-56}-0)²+(y_{1,-57}-0)²+(y_{1,-58}-0)²+(y_{1,-59}-0)²+(y_{1,-60}-0)²+(y_{1,-61}-0)²+(y_{1,-62}-0)²+(y_{1,-63}-0)²+(y_{1,-64}-0)²+(y_{1,-65}-0)²+(y_{1,-66}-0)²+(y_{1,-67}-0)²+(y_{1,-68}-0)²+(y_{1,-69}-0)²+(y_{1,-70}-0)²+(y_{1,-71}-0)²+(y_{1,-72}-0)²+(y_{1,-73}-0)²+(y_{1,-74}-0)²+(y_{1,-75}-0)²+(y_{1,-76}-0)²+(y_{1,-77}-0)²+(y_{1,-78}-0)²+(y_{1,-79}-0)²+(y_{1,-80}-0)²+(y_{1,-81}-0)²+(y_{1,-82}-0)²+(y_{1,-83}-0)²+(y_{1,-84}-0)²+(y_{1,-85}-0)²+(y_{1,-86}-0)²+(y_{1,-87}-0)²+(y_{1,-88}-0)²+(y_{1,-89}-0)²+(y_{1,-90}-0)²+(y_{1,-91}-0)²+(y_{1,-92}-0)²+(y_{1,-93}-0)²+(y_{1,-94}-0)²+(y_{1,-95}-0)²+(y_{1,-96}-0)²+(y_{1,-97}-0)²+(y_{1,-98}-0)²+(y_{1,-99}-0)²+(y_{1,-100}-0)²+(y_{1,-101}-0)²+(y_{1,-102}-0)²+(y_{1,-103}-0)²+(y_{1,-104}-0)²+(y_{1,-105}-0)²+(y_{1,-106}-0)²+(y_{1,-107}-0)²+(y_{1,-108}-0)²+(y_{1,-109}-0)²+(y_{1,-110}-0)²+(y_{1,-111}-0)²+(y_{1,-112}-0)²+(y_{1,-113}-0)²+(y_{1,-114}-0)²+(y_{1,-115}-0)²+(y_{1,-116}-0)²+(y_{1,-117}-0)²+(y_{1,-118}-0)²+(y_{1,-119}-0)²+(y_{1,-120}-0)²+(y_{1,-121}-0)²+(y_{1,-122}-0)²+(y_{1,-123}-0)²+(y_{1,-124}-0)²+(y_{1,-125}-0)²+(y_{1,-126}-0)²+(y_{1,-127}-0)²+(y_{1,-128}-0)²+(y_{1,-129}-0)²+(y_{1,-130}-0)²+(y_{1,-131}-0)²+(y_{1,-132}-0)²+(y_{1,-133}-0)²+(y_{1,-134}-0)²+(y_{1,-135}-0)²+(y_{1,-136}-0)²+(y_{1,-137}-0)²+(y_{1,-138}-0)²+(y_{1,-139}-0)²+(y_{1,-140}-0)²+(y_{1,-141}-0)²+(y_{1,-142}-0)²+(y_{1,-143}-0)²+(y_{1,-144}-0)²+(y_{1,-145}-0)²+(y_{1,-146}-0)²+(y_{1,-147}-0)²+(y_{1,-148}-0)²+(y_{1,-149}-0)²+(y_{1,-150}-0)²+(y_{1,-151}-0)²+(y_{1,-152}-0)²+(y_{1,-153}-0)²+(y_{1,-154}-0)²+(y_{1,-155}-0)²+(y_{1,-156}-0)²+(y_{1,-157}-0)²+(y_{1,-158}-0)²+(y_{1,-159}-0)²+(y_{1,-160}-0)²+(y_{1,-161}-0)²+(y_{1,-162}-0)²+(y_{1,-163}-0)²+(y_{1,-164}-0)²+(y_{1,-165}-0)²+(y_{1,-166}-0)²+(y_{1,-167}-0)²+(y_{1,-168}-0)²+(y_{1,-169}-0)²+(y_{1,-170}-0)²+(y_{1,-171}-0)²+(y_{1,-172}-0)²+(y_{1,-173}-0)²+(y_{1,-174}-0)²+(y_{1,-175}-0)²+(y_{1,-176}-0)²+(y_{1,-177}-0)²+(y_{1,-178}-0)²+(y_{1,-179}-0)²+(y_{1,-180}-0)²+(y_{1,-181}-0)²+(y_{1,-182}-0)²+(y_{1,-183}-0)²+(y_{1,-184}-0)²+(y_{1,-185}-0)²+(y_{1,-186}-0)²+(y_{1,-187}-0)²+(y_{1,-188}-0)²+(y_{1,-189}-0)²+(y_{1,-190}-0)²+(y_{1,-191}-0)²+(y_{1,-192}-0)²+(y_{1,-193}-0)²+(y_{1,-194}-0)²+(y_{1,-195}-0)²+(y_{1,-196}-0)²+(y_{1,-197}-0)²+(y_{1,-198}-0)²+(y_{1,-199}-0)²+(y_{1,-200}-0)²+(y_{1,-201}-0)²+(y_{1,-202}-0)²+(y_{1,-203}-0)²+(y_{1,-204}-0)²+(y_{1,-205}-0)²+(y_{1,-206}-0)²+(y_{1,-207}-0)²+(y_{1,-208}-0)²+(y_{1,-209}-0)²+(y_{1,-210}-0)²+(y_{1,-211}-0)²+(y_{1,-212}-0)²+(y_{1,-213}-0)²+(y_{1,-214}-0)²+(y_{1,-215}-0)²+(y_{1,-216}-0)²+(y_{1,-217}-0)²+(y_{1,-218}-0)²+(y_{1,-219}-0)²+(y_{1,-220}-0)²+(y_{1,-221}-0)²+(y_{1,-222}-0)²+(y_{1,-223}-0)²+(y_{1,-224}-0)²+(y_{1,-225}-0)²+(y_{1,-226}-0)²+(y_{1,-227}-0)²+(y_{1,-228}-0)²+(y_{1,-229}-0)²+(y_{1,-230}-0)²+(y_{1,-231}-0)²+(y_{1,-232}-0)²+(y_{1,-233}-0)²+(y_{1,-234}-0)²+(y_{1,-235}-0)²+(y_{1,-236}-0)²+(y_{1,-237}-0)²+(y_{1,-238}-0)²+(y_{1,-239}-0)²+(y_{1,-240}-0)²+(y_{1,-241}-0)²+(y_{1,-242}-0)²+(y_{1,-243}-0)²+(y_{1,-244}-0)²+(y_{1,-245}-0)²+(y_{1,-246}-0)²+(y_{1,-247}-0)²+(y_{1,-248}-0)²+(y_{1,-249}-0)²+(y_{1,-250}-0)²+(y_{1,-251}-0)²+(y_{1,-252}-0)²+(y_{1,-253}-0)²+(y_{1,-254}-0)²+(y_{1,-255}-0)²+(y_{1,-256}-0)²+(y_{1,-257}-0)²+(y_{1,-258}-0)²+(y_{1,-259}-0)²+(y_{1,-260}-0)²+(y_{1,-261}-0)²+(y_{1,-262}-0)²+(y_{1,-263}-0)²+(y_{1,-264}-0)²+(y_{1,-265}-0)²+(y_{1,-266}-0)²+(y_{1,-267}-0)²+(y_{1,-268}-0)²+(y_{1,-269}-0)²+(y_{1,-270}-0)²+(y_{1,-271}-0)²+(y_{1,-272}-0)²+(y_{1,-273}-0)²+(y_{1,-274}-0)²+(y_{1,-275}-0)²+(y_{1,-276}-0)²+(y_{1,-277}-0)²+(y_{1,-278}-0)²+(y_{1,-279}-0)²+(y_{1,-280}-0)²+(y_{1,-281}-0)²+(y_{1,-282}-0)²+(y_{1,-283}-0)²+(y_{1,-284}-0)²+(y_{1,-285}-0)²+(y_{1,-286}-0)²+(y_{1,-287}-0)²+(y_{1,-288}-0)²+(y_{1,-289}-0)²+(y_{1,-290}-0)²+(y_{1,-291}-0)²+(y_{1,-292}-0)²+(y_{1,-293}-0)²+(y_{1,-294}-0)²+(y_{1,-295}-0)²+(y_{1,-296}-0)²+(y_{1,-297}-0)²+(y_{1,-298}-0)²+(y_{1,-299}-0)²+(y_{1,-300}-0)²+(y_{1,-301}-0)²+(y_{1,-302}-0)²+(y_{1,-303}-0)²+(y_{1,-304}-0)²+(y_{1,-305}-0)²+(y_{1,-306}-0)²+(y_{1,-307}-0)²+(y_{1,-308}-0)²+(y_{1,-309}-0)²+(y_{1,-310}-0)²+(y_{1,-311}-0)²+(y_{1,-312}-0)²+(y_{1,-313}-0)²+(y_{1,-314}-0)²+(y_{1,-315}-0)²+(y_{1,-316}-0)²+(y_{1,-317}-0)²+(y_{1,-318}-0)²+(y_{1,-319}-0)²+(y_{1,-320}-0)²+(y_{1,-321}-0)²+(y_{1,-322}-0)²+(y_{1,-323}-0)²+(y_{1,-324}-0)²+(y_{1,-325}-0)²+(y_{1,-326}-0)²+(y_{1,-327}-0)²+(y_{1,-328}-0)²+(y_{1,-329}-0)²+(y_{1,-330}-0)²+(y_{1,-331}-0)²+(y_{1,-332}-0)²+(y_{1,-333}-0)²+(y_{1,-334}-0)²+(y_{1,-335}-0)²+(y_{1,-336}-0)²+(y_{1,-337}-0)²+(y_{1,-338}-0)²+(y_{1,-339}-0)²+(y_{1,-340}-0)²+(y_{1,-341}-0)²+(y_{1,-342}-0)²+(y_{1,-343}-0)²+(y_{1,-344}-0)²+(y_{1,-345}-0)²+(y_{1,-346}-0)²+(y_{1,-347}-0)²+(y_{1,-348}-0)²+(y_{1,-349}-0)²+(y_{1,-350}-0)²+(y_{1,-351}-0)²+(y_{1,-352}-0)²+(y_{1,-353}-0)²+(y_{1,-354}-0)²+(y_{1,-355}-0)²+(y_{1,-356}-0)²+(y_{1,-357}-0)²+(y_{1,-358}-0)²+(y_{1,-359}-0)²+(y_{1,-360}-0)²+(y_{1,-361}-0)²+(y_{1,-362}-0)²+(y_{1,-363}-0)²+(y_{1,-364}-0)²+(y_{1,-365}-0)²+(y_{1,-366}-0)²+(y_{1,-367}-0)²+(y_{1,-368}-0)²+(y_{1,-369}-0)²+(y_{1,-370}-0)²+(y_{1,-371}-0)²+(y_{1,-372}-0)²+(y_{1,-373}-0)²+(y_{1,-374}-0)²+(y_{1,-375}-0)²+(y_{1,-376}-0)²+(y_{1,-377}-0)²+(y_{1,-378}-0)²+(y_{1,-379}-0)²+(y_{1,-380}-0)²+(y_{1,-381}-0)²+(y_{1,-382}-0)²+(y_{1,-383}-0)²+(y_{1,-384}-0)²+(y_{1,-385}-0)²+(y_{1,-386}-0)²+(y_{1,-387}-0)²+(y_{1,-388}-0)²+(y_{1,-389}-0)²+(y_{1,-390}-0)²+(y_{1,-391}-0)²+(y_{1,-392}-0)²+(y_{1,-393}-0)²+(y_{1,-394}-0)²+(y_{1,-395}-0)²+(y_{1,-396}-0)²+(y_{1,-397}-0)²+(y_{1,-398}-0)²+(y_{1,-399}-0)²+(y_{1,-400}-0)²+(y_{1,-401}-0)²+(y_{1,-402}-0)²+(y_{1,-403}-0)²+(y_{1,-404}-0)²+(y_{1,-405}-0)²+(y_{1,-406}-0)²+(y_{1,-407}-0)²+(y_{1,-408}-0)²+(y_{1,-409}-0)²+(y_{1,-410}-0)²+(y_{1,-411}-0)²+(y_{1,-412}-0)²+(y_{1,-413}-0)²+(y_{1,-414}-0)²+(y_{1,-415}-0)²+(y₁

もおかしくなく、復号結果が正しいかどうかは5分5分であるといえる。従って、 $P_a - P_b$ の値は、復号結果の信頼性を判断するために用いられ得る。すなわち、 $P_a - P_b$ の絶対値が大きいは復号結果の信頼性は高く、 $P_a - P_b$ の絶対値が0に近いほど復号結果の信頼性は低いことになる。

【0054】この復号結果の信頼性を示す指標 $P_a - P_b$ は再生信号の品質を評価するために用いられる。このために、例えば、復号結果に基づいて所定の時間あるいは所定の回数 $P_a - P_b$ を求めることにより $P_a - P_b$ の分布を得る。 $P_a - P_b$ の分布の模式図を図6に示す。図6(a)は再生信号にノイズが重畳された場合の $P_a - P_b$ の分布を示している。この分布には2つのピークがあり、1つは $P_a = 0$ となるときに頻度が極大となり、もう1つは $P_b = 0$ となるときに頻度が極大となる。 $P_a = 0$ となるときの $P_a - P_b$ の値を P_{std} とし、 $P_b = 0$ となるときの $P_a - P_b$ の値を P_{std} と表すことにする。 $P_a - P_b$ の絶対値をとり、 $|P_a - P_b| - P_{std}$ を求めると図6(b)に示すような分布が得られる。

【0055】この分布を正規分布であると仮定して、分布の標準偏差 σ と平均値 P_{ave} を求める。この分布の標準偏差 σ と平均値 P_{ave} とは、ビット誤り率を予測するために用いられ得る。例えば、 $|P_a - P_b|$ の分布を示すものとして推定される分布曲線がなだらかなり、この分布曲線が、 $|P_a - P_b|$ の値が0以下を取り得るような関数によって規定されるとき(すなわち、 $|P_a - P_b|$ が0を取る頻度が0ではないとき)に、 $|P_a - P_b|$ の値が0以下となる確率に応じた頻度で復号の誤りが発生するとみなした場合、標準偏差 σ と平均値 P_{ave} とを用いて、誤り確率 $P(\sigma, P_{ave})$ は以下の式(7)によって規定することができる。

【0056】
 $P(\sigma, P_{ave}) = \text{erfc}(\frac{P_{std} + P_{ave}}{\sigma}) \dots (7)$
【0057】このように、 $P_a - P_b$ の分布から求めた平均値 P_{ave} と標準偏差 σ とを用いれば、最尤復号方式による2値化結果の誤り率を予想することができる。

つまり平均値 P_{ave} と標準偏差 σ とを再生信号品質の指標として用いることが可能である。なお、上記の例では $|P_a - P_b|$ の分布が正規分布であることを仮定しているが、 $|P_a - P_b|$ の分布が正規分布であると見なすことが困難である場合には、上述のような平均値 P_{ave} と標準偏差 σ とを求める代わりに、 $|P_a - P_b|$ の値が所定の基準値以下になる回数をカウントするよにしてもよい。こうして得られたカウント数は、 $|P_a - P_b|$ のバツツキの程度を示す指標となり得る。

【0058】以上に説明したように、本実施形態によれば、所定の期間において所定の第1の状態(例えばS0)から所定の第2の状態(例えばS0)へと状態遷移が生じる場合に、取り得る2つのパスについての上記所定の期間における確からしさの差の絶対値 $|P_a - P_b|$ を計算することによって復号の信頼性を判断することができ、さらに、 $|P_a - P_b|$ を複数回測定して復号の信頼性 $|P_a - P_b|$ のバツツキ程度(分布)を得ることによって、再生信号の品質の評価(ビット誤り率の予測)を行なうことができる。

【0059】なお、このような方法によって信号品質の評価を行なう場合、最も誤りが生じやすい2つのパス(すなわち、2つのパス間のユークリッド距離が最小なるもの)を取り得る状態遷移の組み合わせを選択し、このような2つのパスの確からしさの差の絶対値 $|P_a - P_b|$ を用いて信号品質を評価すればよい。以下、この点について詳細に説明する。

【0060】上述のように最小極性反転間隔が2であるとともに、PR(1, 2, 2, 1)等化を用いた状態遷移則に従う再生信号を復号する場合、2つのパスを取り得る状態遷移は、時刻k-5から時刻kの範囲では、上記のS0からS0への遷移の他に15通りある。下記の表2に、その状態遷移(時刻k-5での状態と時刻kでの状態との組み合わせ)と、それぞれの状態遷移において $P_a - P_b$ が取り得る値(P_{std})とを示す。

【0061】

【表2】

2つの遷移列をとりうる最短の状態遷移の組み合わせ

| 状態遷移 | 復号結果の信頼性 P_a, P_b | |
|-----------------------------|---------------------|-------------|
| | $P_a=0$ のとき | $P_b=0$ のとき |
| $S0_{k-5} \rightarrow S0_k$ | -36 | +36 |
| $S0_{k-5} \rightarrow S1_k$ | -36 | +36 |
| $S0_{k-4} \rightarrow S4_k$ | -10 | +10 |
| $S0_{k-4} \rightarrow S3_k$ | -10 | +10 |
| $S2_{k-4} \rightarrow S0_k$ | -10 | +10 |
| $S2_{k-4} \rightarrow S1_k$ | -10 | +10 |
| $S2_{k-5} \rightarrow S4_k$ | -36 | +36 |
| $S2_{k-5} \rightarrow S3_k$ | -36 | +36 |
| $S5_{k-5} \rightarrow S0_k$ | -36 | +36 |
| $S5_{k-5} \rightarrow S1_k$ | -36 | +36 |
| $S5_{k-4} \rightarrow S4_k$ | -10 | +10 |
| $S5_{k-4} \rightarrow S3_k$ | -10 | +10 |
| $S3_{k-4} \rightarrow S0_k$ | -10 | +10 |
| $S3_{k-4} \rightarrow S1_k$ | -10 | +10 |
| $S3_{k-5} \rightarrow S4_k$ | -36 | +36 |
| $S3_{k-5} \rightarrow S3_k$ | -36 | +36 |

【0062】上記の16通りの復号結果の信頼性 $P_a - P_b$ は下記の式(8)で表すことができる。

*

$(C_{k-7}, C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 0, 0, x, x, 0, 0, 0)$ のとき
 $P_a - P_b = (A_{k-4} - B_{k-4}) + (A_{k-3} - B_{k-3}) + (A_{k-2} - B_{k-2}) + (A_{k-1} - B_{k-1}) + (A_k - B_k)$
 $(C_{k-7}, C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 0, 0, x, x, 0, 0, 1)$ のとき
 $P_a - P_b = (A_{k-4} - B_{k-4}) + (A_{k-3} - B_{k-3}) + (A_{k-2} - B_{k-2}) + (A_{k-1} - B_{k-1}) + (B_k - C_k)$
 $(C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 0, 0, x, 1, 1, 0)$ のとき
 $P_a - P_b = (A_{k-3} - B_{k-3}) + (B_{k-2} - B_{k-2}) + (B_{k-1} - B_{k-1}) + (B_k - C_k)$
 $(C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 0, 0, x, 1, 1, 1)$ のとき
 $P_a - P_b = (A_{k-3} - B_{k-3}) + (B_{k-2} - B_{k-2}) + (B_{k-1} - B_{k-1}) + (A_k - B_k)$
 $(C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 1, 1, x, 0, 0, 1)$ のとき
 $P_a - P_b = (E_{k-3} - F_{k-3}) + (B_{k-2} - B_{k-2}) + (B_{k-1} - B_{k-1}) + (A_k - B_k)$
 $(C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 1, 1, x, 0, 0, 0)$ のとき
 $P_a - P_b = (E_{k-3} - F_{k-3}) + (B_{k-2} - B_{k-2}) + (B_{k-1} - B_{k-1}) + (B_k - C_k)$
 $(C_{k-7}, C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 1, 1, x, x, 1, 1, 0)$ のとき
 $P_a - P_b = (E_{k-4} - F_{k-4}) + (A_{k-3} - B_{k-3}) + (A_{k-2} - B_{k-2}) + (A_{k-1} - B_{k-1}) + (A_k - B_k)$
 $(C_{k-7}, C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 1, 1, x, x, 1, 1, 1)$ のとき
 $P_a - P_b = (E_{k-4} - F_{k-4}) + (A_{k-3} - B_{k-3}) + (A_{k-2} - B_{k-2}) + (A_{k-1} - B_{k-1}) + (B_k - C_k)$
 $(C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 0, 0, x, 1, 1, 0)$ のとき
 $P_a - P_b = (B_{k-4} - C_{k-4}) + (B_{k-3} - B_{k-3}) + (B_{k-2} - B_{k-2}) + (B_{k-1} - B_{k-1}) + (B_k - C_k)$
 $(C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 0, 0, x, 1, 1, 1)$ のとき
 $P_a - P_b = (B_{k-4} - C_{k-4}) + (B_{k-3} - B_{k-3}) + (B_{k-2} - B_{k-2}) + (B_{k-1} - B_{k-1}) + (A_k - B_k)$
 $(C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 1, 1, x, 0, 0, 0)$ のとき
 $P_a - P_b = (F_{k-3} - G_{k-3}) + (B_{k-2} - B_{k-2}) + (B_{k-1} - B_{k-1}) + (A_k - B_k)$

($C_{04}, C_{05}, C_{06}, C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (F_{03} - G_{03}) + (D_{02} - F_{02}) + (B_{01} - D_{01}) + (B_0 - C_0)$

($C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (F_{04} - G_{04}) + (D_{03} - G_{03}) + (C_{02} - G_{02}) + (D_{01} - G_{01}) + (E_0 - F_0)$

($C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (F_{04} - G_{04}) + (D_{03} - G_{03}) + (C_{02} - G_{02}) + (D_{01} - G_{01}) + (F_0 - G_0)$

... (8)

【0064】なお、 $A_n = (y_n - 0)^2$, $B_n = (y_n - 1)^2$, $C_n = (y_n - 2)^2$, $D_n = (y_n - 3)^2$, $E_n = (y_n - 4)^2$, $F_n = (y_n - 5)^2$, $G_n = (y_n - 6)^2$ で表される。
また、上記式(8)を、 P_{std} が10の場合 * 【0066】

($C_{04}, C_{05}, C_{06}, C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (A_{03} - B_{03}) + (B_{02} - D_{02}) + (D_{01} - F_{01}) + (E_0 - F_0)$

($C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (0, 0, 0, 1, 1, 1, 1)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (A_{03} - B_{03}) + (B_{02} - D_{02}) + (D_{01} - F_{01}) + (F_0 - G_0)$

($C_{04}, C_{05}, C_{06}, C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (0, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (E_{03} - F_{03}) + (D_{02} - F_{02}) + (B_{01} - D_{01}) + (A_0 - B_0)$

($C_{04}, C_{05}, C_{06}, C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (0, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (E_{03} - F_{03}) + (D_{02} - F_{02}) + (D_{01} - F_{01}) + (B_0 - C_0)$

($C_{04}, C_{05}, C_{06}, C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (1, 0, 0, 1, 1, 1, 0)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (B_{03} - C_{03}) + (B_{02} - D_{02}) + (D_{01} - F_{01}) + (E_0 - F_0)$

($C_{04}, C_{05}, C_{06}, C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (1, 0, 0, 1, 1, 1, 1)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (B_{03} - C_{03}) + (B_{02} - D_{02}) + (D_{01} - F_{01}) + (F_0 - G_0)$

($C_{04}, C_{05}, C_{06}, C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (1, 1, 1, 1, 1, 0, 0)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (F_{03} - G_{03}) + (D_{02} - F_{02}) + (B_{01} - D_{01}) + (A_0 - B_0)$

($C_{04}, C_{05}, C_{06}, C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (1, 1, 1, 1, 1, 0, 1)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (F_{03} - G_{03}) + (D_{02} - F_{02}) + (D_{01} - D_{01}) + (B_0 - C_0)$

... (9)

【0067】

($C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (A_{04} - B_{04}) + (A_{03} - D_{03}) + (A_{02} - E_{02}) + (A_{01} - D_{01}) + (A_0 - B_0)$

($C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 1)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (A_{04} - B_{04}) + (A_{03} - D_{03}) + (A_{02} - E_{02}) + (A_{01} - D_{01}) + (B_0 - C_0)$

($C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (0, 1, 1, 1, 1, 1, 0)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (E_{04} - F_{04}) + (D_{03} - G_{03}) + (C_{02} - G_{02}) + (D_{01} - G_{01}) + (E_0 - F_0)$

($C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (0, 1, 1, 1, 1, 1, 1)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (E_{04} - F_{04}) + (D_{03} - G_{03}) + (A_{02} - E_{02}) + (A_{01} - D_{01}) + (B_0 - C_0)$

($C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (1, 0, 0, 1, 1, 1, 0)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (E_{04} - F_{04}) + (D_{03} - G_{03}) + (C_{02} - G_{02}) + (D_{01} - G_{01}) + (A_0 - B_0)$

($C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (1, 0, 0, 1, 1, 1, 1)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (F_{04} - G_{04}) + (D_{03} - G_{03}) + (A_{02} - E_{02}) + (A_{01} - D_{01}) + (B_0 - C_0)$

($C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 0)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (F_{04} - G_{04}) + (D_{03} - G_{03}) + (C_{02} - G_{02}) + (D_{01} - G_{01}) + (E_0 - F_0)$

($C_{07}, C_{08}, C_{09}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$) = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)のとき

$P_{\alpha}P_{\beta} = (F_{04} - G_{04}) + (D_{03} - G_{03}) + (C_{02} - G_{02}) + (D_{01} - G_{01}) + (F_0 - G_0)$

... (10)

【0068】ここで、それぞれの場について誤り率の指標を得ることについて考える。 P_{std} が1.0であるような状態遷移では、最良復号結果 c_i から式(10)を満たすような状態遷移では、最良復号結果 c_i から式(9)を満たす $P_{\alpha}P_{\beta}$ を求め、その分布から標準偏差 σ_M と平均 $P_{\alpha}P_{\beta}$ を求め、その分布から標準偏差 σ_{10} と平均 $P_{\alpha}P_{\beta}$ を求める。それぞれの分布が正規分布であ

ると仮定すると、誤り率を起す確率 P_{10} 、 P_M は、それ

ぞれ下記の式(11)および(12)で表される。すなわち、最

尤復号結果のパターンごとに誤り率を推定することがで

き、標準偏差 σ_{10} および平均値 $P_{\text{ave}10}$ 、または、標

準偏差 σ_M および平均値 $P_{\text{ave}M}$ を再生信号の品質の

指標として用いることができる。

【0069】

$$P_M(\sigma_M, P_{\text{ave}M}) = \text{erfc}\left(\frac{36 + P_{\text{ave}M}}{\sigma_M}\right) \quad \dots (12)$$

【0071】また、状態遷移のパターンを検出する範囲

を1時刻増やし、時刻 $k-6$ から時刻 k の範囲で2つの

状態遷移列を取り得る状態遷移の組み合わせパターンを

検出する場合に、以下の表3に示される8パターンが※

2つの遷移列をとりうる最短の状態遷移の組み合わせ

| 状態遷移 | 復号結果の信頼性 $P_{\alpha}P_{\beta}$ | |
|-----------------------------|--------------------------------|-------------------|
| | $P_{\alpha}=0$ のとき | $P_{\beta}=0$ のとき |
| $S0_{k-6} \rightarrow S0_k$ | -12 | +12 |
| $S0_{k-6} \rightarrow S1_k$ | -12 | +12 |
| $S2_{k-6} \rightarrow S3_k$ | -12 | +12 |
| $S2_{k-6} \rightarrow S4_k$ | -12 | +12 |
| $S5_{k-6} \rightarrow S0_k$ | -12 | +12 |
| $S5_{k-6} \rightarrow S1_k$ | -12 | +12 |
| $S3_{k-6} \rightarrow S3_k$ | -12 | +12 |
| $S3_{k-6} \rightarrow S4_k$ | -12 | +12 |

【0073】上記式(11)、(12)と同様に、表3のパター

ンにおける誤り率を起す確率 P_{10} は、式(13)で示され

る。

【0074】

【数6】

$$P_{10}(\sigma_{10}, P_{\text{ave}10}) = \text{erfc}\left(\frac{12 + P_{\text{ave}10}}{\sigma_{10}}\right) \quad \dots (13)$$

【0075】ここで重要なのは、信頼性 $|P_{\alpha}P_{\beta}|$

を再生信号品質の指標として好適に利用するためには、

誤り率(誤り率)が大きい状態遷移のパターンのみ

を検出すればよいということである。すなわち、すべて

の状態遷移のパターンを検出しなくても、誤り率と相関

のある指標を得ることができる。

【0076】ここで、誤り可能性が大きい状態遷移パタ

ーンとは、信頼性 $|P_{\alpha}P_{\beta}|$ の最大値が小さくなる

ような状態遷移パターン(すなわち、パスAとパスBと

の絶対距離であるユークリッド距離が最小となるパター

ン)である。ここでは、表2に示した、 P_{α} または P_{β}

のいずれか一方が0の場合において $P_{\alpha}P_{\beta} = \pm 10$

をとる8つのパターンがこれに該当する。

【0077】再生信号に含まれる雑音のうちホワイトノ

イズが支配的であるとすると、 $P_{10} > P_M > P_M$ とな

50

$$P_{10}(\sigma_{10}, P_{\text{ave}10}) = \text{erfc}\left(\frac{10 + P_{\text{ave}10}}{\sigma_{10}}\right) \quad \dots (11)$$

【0070】

【数5】

*

$$P_M(\sigma_M, P_{\text{ave}M}) = \text{erfc}\left(\frac{36 + P_{\text{ave}M}}{\sigma_M}\right) \quad \dots (12)$$

※さらに検出され得る。

【0072】

【表3】

【0080】ここで、 d_{min} は、取り得る2つのパスのユークリッド距離の最小値の2乗であり、本実施形態の復調符号とPRML方式との組み合わせでは1.0となる。なお、上記の指標MLSAは、式(11)における平均

値 P_{ave} が 0 となるのと仮定のもとに規定されている。これは、平均値 P_{ave} は典型的には 0 に近い値をとるものと考えることができ、平均値 P_{ave} を考慮しない場合にも、指標として誤り率との相関性を持つものが得られるからである。

【0081】式(14)で定義した指標 $MLSA$ と式(11)より算出できる誤り率 BER ($Bit Error Rate$) との関係を図16に示す。図2で示した、ジッタと誤り率の関係と同様に、指標 $MLSA$ の増加にしたがって誤り率が増加していることがわかる。すなわち、指標 $MLSA$ を用いて、PRML 処理後の誤り率を予想することができることがわかる。

【0082】なお、以上には、一般的な $(C0, C1, C1, C0)$ 等化 $(C0, C1)$ は任意の正の数) の一例として、 $PR(1, 2, 2, 1)$ 等化が適用される場合について具体的に説明したが、これ以外の $(C0, C1, C1, C0)$ 等化 $(C0, C1)$ は任意の正の数) が * $Levelv = C0 \times b_{v-1} + C1 \times b_v + C0 \times b_v$... (15) 【0088】ここで k は時刻を表す整数、 v は $0 \sim 3$ までの整数である。また、時刻 k での状態を $S(b_{k-1}, b_k)$ 20 とすると以下の表4に示すような状態遷移表が得られる。 ※ 【0089】

最小極性反転間隔2とPR (C0, C1, C0) 等化の制約から定まる状態遷移表

| 時刻 k-1 での状態 $S(b_{k-1}, b_k)$ | 時刻 k での状態 $S(b_{k-1}, b_k)$ | $b_k / Levelv$ |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------|
| $S(0, 0)$ | $S(0, 0)$ | 0/0 |
| $S(0, 0)$ | $S(0, 1)$ | 1/C0 |
| $S(0, 1)$ | $S(1, 1)$ | 1/C0+C1 |
| $S(1, 1)$ | $S(1, 0)$ | 0/C1+C0 |
| $S(1, 1)$ | $S(1, 1)$ | 1/C0+C1+C0 |
| $S(1, 0)$ | $S(0, 0)$ | 0/C0 |

【0090】簡単のために時刻 k での状態 $S(0, 0)$ を $S0$ 、状態 $S(0, 1)$ を $S1$ 、状態 $S(1, 1)$ を $S2$ 、状態 $S(1, 0)$ を $S3$ 、というように表記する。この場合の状態遷移は図17に示す状態遷移図で示され、また、これを時間軸に関して展開すると図18に示すトレリス図が得られる。

【0091】ここで、記録符号の最小極性反転間隔が2★【0092】

| 状態遷移 | パスAの記録符号 (b_{k-1}, \dots, b_k) | パスBの記録符号 (b_{k-1}, \dots, b_k) |
|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| $S0_{k-3} \rightarrow S2_k$ | $(0, 0, 0, 1, 1)$ | $(0, 0, 1, 1, 1)$ |
| $S2_{k-3} \rightarrow S0_k$ | $(1, 1, 0, 0, 0)$ | $(1, 1, 1, 0, 0)$ |
| $S0_{k-3} \rightarrow S0_k$ | $(0, 0, 0, 0, 0)$ | $(0, 0, 1, 1, 0, 0)$ |
| $S2_{k-3} \rightarrow S2_k$ | $(1, 1, 0, 0, 1, 1)$ | $(1, 1, 1, 1, 1, 1)$ |
| $S0_{k-4} \rightarrow S0_k$ | $(0, 0, 0, 1, 1, 0, 0)$ | $(0, 0, 1, 1, 0, 0, 0)$ |
| $S2_{k-4} \rightarrow S2_k$ | $(1, 1, 0, 0, 0, 1, 1)$ | $(1, 1, 1, 0, 0, 1, 1)$ |

【0093】ここで、パスAとパスBとのいずれがより確からしいかが判断される。この判断は、パスAが示す理想的なサンプル値 (期待値) と実際のサンプル値とのずれの大きさと、パスBが示す理想的なサンプル値 (期待値) と実際のサンプル値とのずれの大きさとを比較することによって行なうことができる。

【0094】例えば、状態遷移 $S0_{k-3} \rightarrow S2_k$ が推定されたとすると、パスA $(S0_{k-3}, S0_{k-2}, S1_{k-1}, S2_k)$ 、パスB $(S0_{k-3}, S1_{k-2}, S2_{k-1}, S2_k)$ のいずれを遷移した場合であつても時刻 $k-3$ では状態 $S0_{k-3}$ をとり、時刻 k では $S2_k$ をとる。この場合、時刻 $k-2$ から時刻 k まで *

$$Pa = (y_{k-2} - 0)^2 + (y_{k-1} - C0)^2 + (y_k - (C1+C2))^2 \quad \dots (16)$$

【0096】

$$Pb = (y_{k-2} - C0)^2 + (y_{k-1} - (C0+C1))^2 + (y_k - (2 \times C0+C1))^2 \quad \dots (17)$$

【0097】ここで、 $Pa < Pb$ であればパスAの可能性が高いと推定され、 $Pa > Pb$ であればパスBの可能性が高いと推定される。すなわち、最小極性反転間隔が2である記録符号とPR (C0, C1, C0) 等化を用いた場合においても、 $|Pa - Pb|$ を用いて復号結果の信頼性を判断することができる。また、 $|Pa - Pb|$ の分布に20基づいて再生信号の品質の評価 (誤り率の推定) を行なうことができる。 ※ 【0099】

2つの遷移をとりうる状態遷移と対応するパス

| 状態遷移 | パスAの記録符号 (b_{k-1}, \dots, b_k) | パスBの記録符号 (b_{k-1}, \dots, b_k) |
|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| $S0_{k-3} \rightarrow S2_k$ | $(0, 0, 0, 1, 1)$ | $(0, 0, 1, 1, 1)$ |
| $S2_{k-3} \rightarrow S0_k$ | $(1, 1, 0, 0, 0)$ | $(1, 1, 1, 0, 0)$ |

【0100】ここで、復号結果を c_k とし (k は整数)、表6に示す状態遷移における信頼性 $Pa - Pb$ を★30【0101】

$$(C_{k-1}, C_{k-2}, C_{k-3}, C_{k-4}, C_{k-5}, C_k) = (0, 0, x, 1, 1) \text{ のとき}$$

$$Pa - Pb = (AA_{k-2} - BB_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (CC_k - DD_k)$$

$$(C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 1, x, 0, 0) \text{ のとき}$$

$$Pa - Pb = (CC_{k-2} - DD_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (AA_k - BB_k) \quad \dots (18)$$

【0102】ここで、AA, BB, CC, DD は以下の式で★【0103】表される。

$$AA_k = (y_k - 0)^2, \quad BB_k = (y_k - C0)^2,$$

$$CC_k = (y_k - (C0+C1))^2, \quad DD_k = (y_k - (2 \times C0+C1))^2,$$

【0104】復号結果 c_k から式 (18) を満たす $|Pa - Pb| - (2 \times C0^2 + C1^2)$ を求め、その分布から標準偏差 σ と平均値 P_{ave} を求める。分布が正規分布であると仮定すると、誤り率 σ を超える確率は式 (19) で表される。したがって標準偏差 σ と平均値 P_{ave} より再生信号の誤り率を推定でき、信号品質の指標とすることができ

【0105】
【数8】
$$P(q, Pave) = \text{erfc} \left(\frac{Pave}{\sigma} \right) \quad \dots (19)$$

50 【0108】記録符号を以下のように表記する。

【0093】ここで、パスAとパスBとのいずれがより確からしいかが判断される。この判断は、パスAが示す理想的なサンプル値 (期待値) と実際のサンプル値とのずれの大きさと、パスBが示す理想的なサンプル値 (期待値) と実際のサンプル値とのずれの大きさとを比較することによって行なうことができる。

【0094】例えば、状態遷移 $S0_{k-2}$ から時刻 $k-2$ までの期待値と再生信号 y_{k-2} から y_k までの値との差の2乗の累積値を P_a とし、パスBの時刻 $k-2$ から時刻 k までの期待値と再生信号 y_{k-2} から y_k までの値との差の2乗の累積値を P_b とすると、累積値 P_a は以下の式 (16) で表され、累積値 P_b は以下の式 (17) で表される。

$$Pa = (y_{k-2} - 0)^2 + (y_{k-1} - C0)^2 + (y_k - (C1+C2))^2 \quad \dots (16)$$

【0096】

$$Pb = (y_{k-2} - C0)^2 + (y_{k-1} - (C0+C1))^2 + (y_k - (2 \times C0+C1))^2 \quad \dots (17)$$

【0097】ここで、 $Pa < Pb$ であればパスAの可能性が高いと推定され、 $Pa > Pb$ であればパスBの可能性が高いと推定される。すなわち、最小極性反転間隔が2である記録符号とPR (C0, C1, C0) 等化を用いた場合においても、 $|Pa - Pb|$ を用いて復号結果の信頼性を判断することができる。また、 $|Pa - Pb|$ の分布に20基づいて再生信号の品質の評価 (誤り率の推定) を行なうことができる。 ※ 【0099】

2つの遷移をとりうる状態遷移と対応するパス

| 状態遷移 | パスAの記録符号 (b_{k-1}, \dots, b_k) | パスBの記録符号 (b_{k-1}, \dots, b_k) |
|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| $S0_{k-3} \rightarrow S2_k$ | $(0, 0, 0, 1, 1)$ | $(0, 0, 1, 1, 1)$ |
| $S2_{k-3} \rightarrow S0_k$ | $(1, 1, 0, 0, 0)$ | $(1, 1, 1, 0, 0)$ |

【0100】ここで、復号結果を c_k とし (k は整数)、表6に示す状態遷移における信頼性 $Pa - Pb$ を★30【0101】

$$(C_{k-1}, C_{k-2}, C_{k-3}, C_{k-4}, C_{k-5}, C_k) = (0, 0, x, 1, 1) \text{ のとき}$$

$$Pa - Pb = (AA_{k-2} - BB_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (CC_k - DD_k)$$

$$(C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 1, x, 0, 0) \text{ のとき}$$

$$Pa - Pb = (CC_{k-2} - DD_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (AA_k - BB_k) \quad \dots (18)$$

【0102】ここで、AA, BB, CC, DD は以下の式で★【0103】表される。

$$AA_k = (y_k - 0)^2, \quad BB_k = (y_k - C0)^2,$$

$$CC_k = (y_k - (C0+C1))^2, \quad DD_k = (y_k - (2 \times C0+C1))^2,$$

【0104】復号結果 c_k から式 (18) を満たす $|Pa - Pb| - (2 \times C0^2 + C1^2)$ を求め、その分布から標準偏差 σ と平均値 P_{ave} を求める。分布が正規分布であると仮定すると、誤り率 σ を超える確率は式 (19) で表される。したがって標準偏差 σ と平均値 P_{ave} より再生信号の誤り率を推定でき、信号品質の指標とすることができ

【0105】
【数8】
$$P(q, Pave) = \text{erfc} \left(\frac{Pave}{\sigma} \right) \quad \dots (19)$$

50 【0108】記録符号を以下のように表記する。

[0109]

時刻の記録符号: b_i
 1時刻前の記録符号: b_{i-1}
 2時刻前の記録符号: b_{i-2}
 3時刻前の記録符号: b_{i-3}

* 4時刻前の記録符号: b_{i-4}

[0110] PR (C0, C1, C2, C1, C0) 等化されている場合の再生信号の理想的な値を Level v とし、Level v は以下の式(20)で表される。

$$\text{Level } v = C0 \times b_{i-4} + C1 \times b_{i-3} + C2 \times b_{i-2} + C1 \times b_{i-1} + C0 \times b_i \quad \dots (20)$$

* [0111]
 ※ 遷移表が得られる。

[0112]

ここで k は時刻を表す整数、 v は 0 ~ 8 までの整数である。また、時刻 k での状態を $S(b_{k-3}, b_{k-2}, b_{k-1})$ とすると、以下の表7に示すような状態遷移表が得られる。

| 時刻 $k-1$ での状態 $S(b_{k-4}, b_{k-3}, b_{k-2}, b_{k-1})$ | 時刻 k での状態 $S(b_{k-3}, b_{k-2}, b_{k-1}, b_k)$ | b_k / LEVELv |
|--|--|----------------|
| $S(0,0,0,0)$ | $S(0,0,0,0)$ | 0/0 |
| $S(0,0,0,0)$ | $S(0,0,0,1)$ | 1/C0 |
| $S(0,0,0,1)$ | $S(0,0,1,1)$ | 1/C0+C1 |
| $S(0,0,1,1)$ | $S(0,1,1,0)$ | 0/C1+C2 |
| $S(0,0,1,1)$ | $S(0,1,1,1)$ | 1/C0+C1+C2 |
| $S(0,1,1,0)$ | $S(1,1,0,0)$ | 0/C1+C2 |
| $S(0,1,1,1)$ | $S(1,1,1,0)$ | 0/2*C1+C2 |
| $S(0,1,1,1)$ | $S(1,1,1,1)$ | 1/C0+2*C1+C2 |
| $S(1,0,0,0)$ | $S(0,0,0,0)$ | 0/C0 |
| $S(1,0,0,1)$ | $S(0,0,1,1)$ | 1/2*C0 |
| $S(1,0,1,1)$ | $S(0,1,1,1)$ | 1/2*C0+C1 |
| $S(1,1,0,0)$ | $S(1,0,0,0)$ | 0/C0+C1 |
| $S(1,1,0,1)$ | $S(1,0,1,1)$ | 1/2*C0+C1 |
| $S(1,1,1,0)$ | $S(1,1,0,0)$ | 0/C0+C1+C2 |
| $S(1,1,1,1)$ | $S(1,1,1,0)$ | 0/C0+2*C1+C2 |
| $S(1,1,1,1)$ | $S(1,1,1,1)$ | 1/2*C0+2*C1+C2 |

[0114] 簡単のために時刻 k での状態 $S(0,0,0,0)$ を $S0_0$ 、状態 $S(0,0,1,1)$ を $S1_1$ 、状態 $S(0,0,1,1)$ を $S2_1$ 、状態 $S(0,1,1,1)$ を $S3_1$ 、状態 $S(1,1,1,1)$ を $S4_1$ 、状態 $S(1,1,1,0)$ を $S5_1$ 、状態 $S(1,1,0,0)$ を $S6_1$ 、状態 $S(1,0,0,0)$ を $S7_1$ 、状態 $S(1,0,0,1)$ を $S8_1$ 、状態 $S(0,1,1,0)$ を $S9_1$ 、というように表記する。この場合の状態遷移は図19に示す状態遷移図で示され、また、これを時間軸に展開すると図20に示すトレリス図が得られる。

[0115]

ここで、記録符号の最小極性反転間隔が2であり、PR (C0, C1, C2, C1, C0) 等化が用いられているという条件の下では、ある時刻の所定の状態から別の時刻の所定の状態へ遷移するときに2つの状態遷移(パスAおよびパスB)を取り得るような状態遷移パターン(状態の組み合わせ)は表8~10に示すように9通り存在する。

[0116]

[表8]

[0117]

2つの遷移をとりうる状態遷移と対応するパス

| 状態遷移 | パスAの記録符号 (b_{k-4}, \dots, b_k) | パスBの記録符号 (b_{k-1}, \dots, b_k) |
|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| $S0_{k-5} \rightarrow S6_k$ | (0,0,0,0,1,1,0,0) | (0,0,0,1,1,1,0,0) |
| $S0_{k-5} \rightarrow S5_k$ | (0,0,0,0,1,1,1,0) | (0,0,0,1,1,1,1,0) |
| $S0_{k-5} \rightarrow S4_k$ | (0,0,0,0,1,1,1,1) | (0,0,0,1,1,1,1,1) |
| $S2_{k-5} \rightarrow S0_k$ | (0,0,1,1,0,0,0,0) | (0,0,1,1,1,0,0,0) |
| $S2_{k-5} \rightarrow S1_k$ | (0,0,1,1,0,0,0,1) | (0,0,1,1,1,0,0,1) |
| $S2_{k-5} \rightarrow S2_k$ | (0,0,1,1,0,0,1,1) | (0,0,1,1,1,0,1,1) |
| $S3_{k-5} \rightarrow S0_k$ | (0,1,1,1,0,0,0,0) | (0,1,1,1,1,0,0,0) |
| $S3_{k-5} \rightarrow S1_k$ | (0,1,1,1,0,0,0,1) | (0,1,1,1,1,0,0,1) |
| $S3_{k-5} \rightarrow S2_k$ | (0,1,1,1,0,0,1,1) | (0,1,1,1,1,0,1,1) |
| $S7_{k-5} \rightarrow S6_k$ | (1,0,0,0,1,1,1,0) | (1,0,0,1,1,1,1,0) |
| $S7_{k-5} \rightarrow S4_k$ | (1,0,0,0,1,1,1,1) | (1,0,0,1,1,1,1,1) |
| $S6_{k-5} \rightarrow S6_k$ | (1,1,0,0,1,1,1,0) | (1,1,0,1,1,1,1,0) |
| $S6_{k-5} \rightarrow S5_k$ | (1,1,0,0,1,1,1,1) | (1,1,0,1,1,1,1,1) |
| $S6_{k-5} \rightarrow S4_k$ | (1,1,0,0,1,1,1,1) | (1,1,0,1,1,1,1,1) |
| $S4_{k-5} \rightarrow S0_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0) | (1,1,1,1,1,0,0,0) |
| $S4_{k-5} \rightarrow S1_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,1) | (1,1,1,1,1,0,0,1) |
| $S4_{k-5} \rightarrow S2_k$ | (1,1,1,1,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,1,1) |
| $S0_{k-6} \rightarrow S0_k$ | (0,0,0,0,0,0,0,0) | (0,0,0,1,1,0,0,0) |
| $S0_{k-6} \rightarrow S1_k$ | (0,0,0,0,0,0,0,1) | (0,0,0,1,1,0,0,1) |
| $S0_{k-6} \rightarrow S2_k$ | (0,0,0,0,0,0,1,1) | (0,0,0,1,1,0,1,1) |
| $S2_{k-6} \rightarrow S6_k$ | (0,0,1,1,0,0,1,1,0,0) | (0,0,1,1,1,1,1,1,0,0) |
| $S2_{k-6} \rightarrow S5_k$ | (0,0,1,1,0,0,1,1,1,0) | (0,0,1,1,1,1,1,1,1,0) |
| $S2_{k-6} \rightarrow S4_k$ | (0,0,1,1,0,0,1,1,1,1) | (0,0,1,1,1,1,1,1,1,1) |
| $S8_{k-6} \rightarrow S6_k$ | (0,1,1,1,0,0,1,1,0,0) | (0,1,1,1,1,1,1,1,0,0) |
| $S8_{k-6} \rightarrow S5_k$ | (0,1,1,1,0,0,1,1,1,0) | (0,1,1,1,1,1,1,1,1,0) |
| $S8_{k-6} \rightarrow S4_k$ | (0,1,1,1,0,0,1,1,1,1) | (0,1,1,1,1,1,1,1,1,1) |
| $S7_{k-6} \rightarrow S0_k$ | (1,0,0,0,0,0,0,0,0,0) | (1,0,0,1,1,0,0,0,0) |
| $S7_{k-6} \rightarrow S1_k$ | (1,0,0,0,0,0,0,0,0,1) | (1,0,0,1,1,0,0,0,1) |
| $S7_{k-6} \rightarrow S2_k$ | (1,0,0,0,0,0,0,0,1,1) | (1,0,0,1,1,0,0,1,1) |
| $S6_{k-6} \rightarrow S6_k$ | (1,1,0,0,0,0,0,0,1,1) | (1,1,0,1,1,0,0,1,1) |
| $S6_{k-6} \rightarrow S5_k$ | (1,1,0,0,0,0,0,0,1,1) | (1,1,0,1,1,0,0,1,1) |
| $S6_{k-6} \rightarrow S4_k$ | (1,1,0,0,0,0,0,0,1,1) | (1,1,0,1,1,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S0_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S1_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S2_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S3_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S4_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S5_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S6_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S7_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S8_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S9_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S0_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S1_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S2_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S3_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S4_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S5_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S6_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S7_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S8_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-6} \rightarrow S9_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |

[表9]

[0117]

| 状態遷移 | バスAの記録符号 (b_{k-1}, \dots, b_1) | バスBの記録符号 (b_{k-1}, \dots, b_1) |
|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| $S0_{k-7} \rightarrow S0_k$ | (0,0,0,0,1,1,0,0,0,0) | (0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0,0) |
| $S0_{k-7} \rightarrow S1_k$ | (0,0,0,0,1,1,0,0,0,1) | (0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,1) |
| $S0_{k-7} \rightarrow S2_k$ | (0,0,0,0,1,1,0,0,1,1) | (0,0,0,0,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S2_{k-7} \rightarrow S6_k$ | (0,0,1,1,0,0,1,1,1,0,0) | (0,0,1,1,1,0,0,1,1,0,0) |
| $S2_{k-7} \rightarrow S5_k$ | (0,0,1,1,0,0,1,1,1,1,0) | (0,0,1,1,1,0,0,1,1,1,0) |
| $S2_{k-7} \rightarrow S4_k$ | (0,0,1,1,0,0,1,1,1,1,1) | (0,0,1,1,1,0,0,1,1,1,1) |
| $S3_{k-7} \rightarrow S6_k$ | (0,1,1,1,0,0,1,1,1,0,0) | (0,1,1,1,1,0,0,1,1,0,0) |
| $S3_{k-7} \rightarrow S5_k$ | (0,1,1,1,0,0,1,1,1,1,0) | (0,1,1,1,1,0,0,1,1,1,0) |
| $S3_{k-7} \rightarrow S4_k$ | (0,1,1,1,0,0,1,1,1,1,1) | (0,1,1,1,1,0,0,1,1,1,1) |
| $S7_{k-7} \rightarrow S0_k$ | (1,0,0,0,0,1,1,0,0,0,0) | (1,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0) |
| $S7_{k-7} \rightarrow S1_k$ | (1,0,0,0,0,1,1,0,0,0,1) | (1,0,0,0,1,1,0,0,0,0,1) |
| $S7_{k-7} \rightarrow S2_k$ | (1,0,0,0,0,1,1,0,0,1,1) | (1,0,0,0,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S6_{k-7} \rightarrow S0_k$ | (1,1,0,0,0,1,1,0,0,0,0) | (1,1,0,0,1,1,0,0,0,0,0) |
| $S6_{k-7} \rightarrow S1_k$ | (1,1,0,0,0,1,1,0,0,0,1) | (1,1,0,0,1,1,0,0,0,0,1) |
| $S6_{k-7} \rightarrow S2_k$ | (1,1,0,0,0,1,1,0,0,1,1) | (1,1,0,0,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-7} \rightarrow S6_k$ | (1,1,1,1,0,0,1,1,1,0,0) | (1,1,1,1,1,0,0,1,1,0,0) |
| $S4_{k-7} \rightarrow S5_k$ | (1,1,1,1,0,0,1,1,1,1,0) | (1,1,1,1,1,0,0,1,1,1,0) |
| $S4_{k-7} \rightarrow S4_k$ | (1,1,1,1,0,0,1,1,1,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,1,1,1,1) |
| $S0_{k-8} \rightarrow S0_k$ | (0,0,0,0,0,1,1,1,0,0,0) | (0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0) |
| $S0_{k-8} \rightarrow S1_k$ | (0,0,0,0,0,1,1,1,0,0,1) | (0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,1) |
| $S0_{k-8} \rightarrow S2_k$ | (0,0,0,0,0,1,1,1,0,0,1,1) | (0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S2_{k-8} \rightarrow S6_k$ | (0,0,1,1,0,0,0,1,1,1,0,0) | (0,0,1,1,1,0,0,0,1,1,0,0) |
| $S2_{k-8} \rightarrow S5_k$ | (0,0,1,1,0,0,0,1,1,1,1,0) | (0,0,1,1,1,0,0,0,1,1,1,0) |
| $S2_{k-8} \rightarrow S4_k$ | (0,0,1,1,0,0,0,1,1,1,1,1) | (0,0,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1) |
| $S3_{k-8} \rightarrow S6_k$ | (0,1,1,1,0,0,0,1,1,1,0,0) | (0,1,1,1,1,0,0,0,1,1,0,0) |
| $S3_{k-8} \rightarrow S5_k$ | (0,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1,0) | (0,1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,0) |
| $S3_{k-8} \rightarrow S4_k$ | (0,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1,1) | (0,1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1) |
| $S7_{k-8} \rightarrow S0_k$ | (1,0,0,0,0,1,1,1,0,0,0) | (1,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0) |
| $S7_{k-8} \rightarrow S1_k$ | (1,0,0,0,0,1,1,1,0,0,1) | (1,0,0,0,1,1,1,0,0,0,1) |
| $S7_{k-8} \rightarrow S2_k$ | (1,0,0,0,0,1,1,1,0,0,1,1) | (1,0,0,0,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S6_{k-8} \rightarrow S0_k$ | (1,1,0,0,0,1,1,1,0,0,0) | (1,1,0,0,1,1,1,0,0,0,0) |
| $S6_{k-8} \rightarrow S1_k$ | (1,1,0,0,0,1,1,1,0,0,1) | (1,1,0,0,1,1,1,0,0,0,1) |
| $S6_{k-8} \rightarrow S2_k$ | (1,1,0,0,0,1,1,1,0,0,1,1) | (1,1,0,0,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-8} \rightarrow S6_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,0,0) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1,0,0) |
| $S4_{k-8} \rightarrow S5_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1,0) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,0) |
| $S4_{k-8} \rightarrow S4_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1) |

【0118】

40 【表10】

| 状態遷移 | バスAの記録符号 (b_{k-1}, \dots, b_1) | バスBの記録符号 (b_{k-1}, \dots, b_1) |
|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| $S0_{k-9} \rightarrow S0_k$ | (0,0,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,0) | (0,0,0,0,1,1,1,1,1,0,0,0,0,0) |
| $S0_{k-9} \rightarrow S1_k$ | (0,0,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,1) | (0,0,0,0,1,1,1,1,1,0,0,0,0,1) |
| $S0_{k-9} \rightarrow S2_k$ | (0,0,0,0,0,1,1,1,0,0,1,1) | (0,0,0,0,1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S2_{k-9} \rightarrow S6_k$ | (0,0,1,1,0,0,0,0,1,1,1,0,0) | (0,0,1,1,1,0,0,0,0,1,1,0,0) |
| $S2_{k-9} \rightarrow S5_k$ | (0,0,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1,0) | (0,0,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,0) |
| $S2_{k-9} \rightarrow S4_k$ | (0,0,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1,1) | (0,0,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1) |
| $S3_{k-9} \rightarrow S6_k$ | (0,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,0,0) | (0,1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,0,0) |
| $S3_{k-9} \rightarrow S5_k$ | (0,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1,0) | (0,1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,0) |
| $S3_{k-9} \rightarrow S4_k$ | (0,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1,1) | (0,1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1) |
| $S7_{k-9} \rightarrow S0_k$ | (1,0,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,0) | (1,0,0,0,1,1,1,1,1,0,0,0,0) |
| $S7_{k-9} \rightarrow S1_k$ | (1,0,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,1) | (1,0,0,0,1,1,1,1,1,0,0,0,1) |
| $S7_{k-9} \rightarrow S2_k$ | (1,0,0,0,0,1,1,1,1,0,0,1,1) | (1,0,0,0,1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S6_{k-9} \rightarrow S0_k$ | (1,1,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,0) | (1,1,0,0,1,1,1,1,1,0,0,0,0) |
| $S6_{k-9} \rightarrow S1_k$ | (1,1,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,1) | (1,1,0,0,1,1,1,1,1,0,0,0,1) |
| $S6_{k-9} \rightarrow S2_k$ | (1,1,0,0,0,1,1,1,1,0,0,1,1) | (1,1,0,0,1,1,1,1,1,0,0,0,1,1) |
| $S4_{k-9} \rightarrow S6_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,0,0) | (1,1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,0,0) |
| $S4_{k-9} \rightarrow S5_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1,0) | (1,1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,0) |
| $S4_{k-9} \rightarrow S4_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1) |

【0119】なお、表8～10は便宜上3つの表に分けられているが、1つの表にまとめられても良い。

【0120】ここで、バスAとバスBとのいずれがより確からしいかが判断される。この判断は、バスAが示す理想的なサンプル値（期待値）と実際のサンプル値とのずれの大きさとを比較することによって行なうことができる。

【0121】例えば、状態遷移 $S0_{k-9} \rightarrow S6_k$ が推定されたとして、バスA、バスBの何れを遷移した場合で*

$$P_a = (y_{k-1} - 0)^2 + (y_{k-2} - 0)^2 + (y_{k-3} - (0+0+1))^2 + (y_{k-4} - (0+0+1+C2))^2 + (y_{k-5} - (2 \times C1 + C2))^2 \quad \dots (21)$$

【0123】

$$P_b = (y_{k-4} - 0)^2 + (y_{k-3} - (0+0+1))^2 + (y_{k-2} - (0+0+1+C2))^2 + (y_{k-1} - (0+0+2 \times C1 + C2))^2 + (y_{k-0} - (0+0+2 \times C1 + C2))^2 \quad \dots (22)$$

【0124】ここで $P_a < P_b$ であれば、バスAの可能性が高いと推定され、 $P_a > P_b$ であれば、バスBの可能性が高いと推定される。すなわち、最小確性反転距離が2である符号とPR（00, 01, 02, 01, 00）等化を用いた場合においても $|P_a - P_b|$ を用いて復号結果の信頼性を判断することができる。また、 $|P_a - P_b|$ の分布に基づいて再生信号の品質の評価（誤り率の推定）を行なうことができる。

【0118】

40 【表10】

* あつても時刻 $k-5$ では状態 $S0_{k-5}$ をとり、時刻 k では $S6_k$ をとることから、時刻 $k-4$ から時刻 k までの再生信号の値、 y_{k-4} 、 y_{k-3} 、 y_{k-2} 、 y_{k-1} 、 y_k と期待値との差の2乗の累積値によってバスAかバスBのどちらの状態遷移がより確からしいかが判断される。バスAにおける期待値と実際の値との差の2乗の累積値を P_a とし、バスBにおける期待値と実際の値との差の2乗の累積値を P_b とすると、累積値 P_b は以下の式（21）で表される。

【0122】

$$P_a = (y_{k-1} - 0)^2 + (y_{k-2} - 0)^2 + (y_{k-3} - (0+0+1))^2 + (y_{k-4} - (0+0+1+C2))^2 + (y_{k-5} - (2 \times C1 + C2))^2 \quad \dots (21)$$

【0123】

$$P_b = (y_{k-4} - 0)^2 + (y_{k-3} - (0+0+1))^2 + (y_{k-2} - (0+0+1+C2))^2 + (y_{k-1} - (0+0+2 \times C1 + C2))^2 + (y_{k-0} - (0+0+2 \times C1 + C2))^2 \quad \dots (22)$$

【0125】白色のノイズが伝送路に重畳された場合を考えると、誤りをもつとも起こしうる状態遷移はバスAとバスBのユークリッド距離が最小となるものとなるものであり、以下の表11に示す16通りの状態遷移が挙げられる。

【0126】

【表11】

ユークリッド距離が最小となる遷移と対応するパス

| 状態遷移 | パスAの記録符号 (b_{k-1}, \dots, b_k) | パスBの記録符号 (b_{k-i}, \dots, b_k) |
|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| $S0_{k-5} \rightarrow S6_k$ | (0,0,0,0,1,1,0,0) | (0,0,0,0,1,1,1,0,0) |
| $S0_{k-5} \rightarrow S5_k$ | (0,0,0,0,1,1,1,0) | (0,0,0,0,1,1,1,1,0) |
| $S0_{k-5} \rightarrow S4_k$ | (0,0,0,0,1,1,1,1) | (0,0,0,0,1,1,1,1,1) |
| $S2_{k-5} \rightarrow S0_k$ | (0,0,1,1,0,0,0,0) | (0,0,1,1,1,0,0,0,0) |
| $S2_{k-5} \rightarrow S1_k$ | (0,0,1,1,0,0,0,1) | (0,0,1,1,1,0,0,0,1) |
| $S2_{k-5} \rightarrow S2_k$ | (0,0,1,1,0,0,1,1) | (0,0,1,1,1,0,1,1,1) |
| $S3_{k-5} \rightarrow S0_k$ | (0,1,1,1,0,0,0,0) | (0,1,1,1,1,0,0,0,0) |
| $S3_{k-5} \rightarrow S1_k$ | (0,1,1,1,0,0,0,1) | (0,1,1,1,1,0,0,0,1) |
| $S3_{k-5} \rightarrow S2_k$ | (0,1,1,1,0,0,1,1) | (0,1,1,1,1,0,1,1,1) |
| $S7_{k-5} \rightarrow S6_k$ | (1,0,0,0,1,1,0,0) | (1,0,0,0,1,1,1,0,0) |
| $S7_{k-5} \rightarrow S5_k$ | (1,0,0,0,1,1,1,0) | (1,0,0,0,1,1,1,1,0) |
| $S7_{k-5} \rightarrow S4_k$ | (1,0,0,0,1,1,1,1) | (1,0,0,0,1,1,1,1,1) |
| $S6_{k-5} \rightarrow S6_k$ | (1,1,0,0,1,1,0,0) | (1,1,0,0,1,1,1,0,0) |
| $S6_{k-5} \rightarrow S5_k$ | (1,1,0,0,1,1,1,0) | (1,1,0,0,1,1,1,1,0) |
| $S6_{k-5} \rightarrow S4_k$ | (1,1,0,0,1,1,1,1) | (1,1,0,0,1,1,1,1,1) |
| $S4_{k-5} \rightarrow S0_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,0) | (1,1,1,1,1,0,0,0,0) |
| $S4_{k-5} \rightarrow S1_k$ | (1,1,1,1,0,0,0,1) | (1,1,1,1,1,0,0,0,1) |
| $S4_{k-5} \rightarrow S2_k$ | (1,1,1,1,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,0,1,1,1) |

【0127】上記16通りの状態遷移のときの復号結果 * る信頼性 $P_{a \rightarrow P, b}$ をまとめると式 (23) が得られる。
を c_i とし (k は整数)、表11に示す状態遷移後における * 【0128】

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 0, 0, 0, 0, x, 1, 1, 0, 0)$$

0)のとき

$$P_a - P_b = (AA_{k-4} - BB_{k-4}) + (BB_{k-3} - CC_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (DD_{k-1} - FF_{k-1}) + (DD_k - EE_k)$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 0, 0, 0, 0, x, 1, 1, 1, 1)$$

0)のとき

$$P_a - P_b = (AA_{k-4} - BB_{k-4}) + (BB_{k-3} - CC_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (EE_{k-1} - GG_{k-1}) + (FF_{k-1} - GG_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 0, 0, 0, 0, x, 1, 1, 1, 1)$$

1)のとき

$$P_a - P_b = (AA_{k-4} - BB_{k-4}) + (BB_{k-3} - CC_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (EE_{k-1} - GG_{k-1}) + (GG_{k-1} - JJ_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 0, 1, 1, x, 0, 0, 0, 0, 0)$$

0)のとき

$$P_a - P_b = (DD_{k-4} - EE_{k-4}) + (DD_{k-3} - FF_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (AA_{k-1} - BB_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 0, 1, 1, x, 0, 0, 0, 0, 0)$$

1)のとき

$$P_a - P_b = (DD_{k-4} - EE_{k-4}) + (DD_{k-3} - FF_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (BB_{k-1} - HH_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 0, 1, 1, x, 0, 0, 1, 1, 1)$$

1)のとき

$$P_a - P_b = (DD_{k-4} - EE_{k-4}) + (DD_{k-3} - FF_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (HH_{k-1} - II_{k-1}) + (CC_{k-1} - II_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 1, 1, 1, x, 0, 0, 0, 0, 0)$$

$$0)のとき$$

$$P_a - P_b = (FF_{k-4} - GG_{k-4}) + (EE_{k-3} - GG_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (AA_{k-1} - BB_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 1, 1, 1, x, 0, 0, 0, 0, 0)$$

$$1)のとき$$

$$P_a - P_b = (FF_{k-4} - GG_{k-4}) + (EE_{k-3} - GG_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (BB_{k-1} - HH_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 1, 1, 1, x, 0, 0, 1, 1, 1)$$

$$1)のとき$$

$$P_a - P_b = (FF_{k-4} - GG_{k-4}) + (EE_{k-3} - GG_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (HH_{k-1} - II_{k-1}) + (CC_{k-1} - II_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 0, 0, 0, x, 1, 1, 0, 0, 0)$$

$$0)のとき$$

$$P_a - P_b = (BB_{k-4} - HH_{k-4}) + (BB_{k-3} - CC_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (DD_{k-1} - FF_{k-1}) + (DD_{k-1} - EE_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 0, 0, 0, x, 1, 1, 1, 1, 1)$$

$$0)のとき$$

$$P_a - P_b = (BB_{k-4} - HH_{k-4}) + (BB_{k-3} - CC_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (EE_{k-1} - GG_{k-1}) + (FF_{k-1} - GG_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 0, 0, 0, x, 1, 1, 1, 1, 1)$$

$$1)のとき$$

$$P_a - P_b = (BB_{k-4} - HH_{k-4}) + (BB_{k-3} - CC_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (EE_{k-1} - GG_{k-1}) + (GG_{k-1} - JJ_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 1, 0, 0, x, 1, 1, 1, 1, 0)$$

$$0)のとき$$

$$P_a - P_b = (CC_{k-4} - II_{k-4}) + (HH_{k-3} - II_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (DD_{k-1} - FF_{k-1}) + (DD_{k-1} - EE_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 1, 0, 0, x, 1, 1, 1, 1, 0)$$

$$0)のとき$$

$$P_a - P_b = (CC_{k-4} - II_{k-4}) + (HH_{k-3} - II_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (EE_{k-1} - GG_{k-1}) + (FF_{k-1} - GG_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 1, 0, 0, x, 1, 1, 1, 1, 1)$$

$$0)のとき$$

$$P_a - P_b = (CC_{k-4} - II_{k-4}) + (HH_{k-3} - II_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (EE_{k-1} - GG_{k-1}) + (FF_{k-1} - GG_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 1, 0, 0, x, 1, 1, 1, 1, 1)$$

$$1)のとき$$

$$P_a - P_b = (CC_{k-4} - II_{k-4}) + (HH_{k-3} - II_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (EE_{k-1} - GG_{k-1}) + (GG_{k-1} - JJ_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 1, 1, 1, x, 0, 0, 0, 0, 0)$$

$$0)のとき$$

$$P_a - P_b = (CC_{k-4} - II_{k-4}) + (HH_{k-3} - II_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (EE_{k-1} - GG_{k-1}) + (GG_{k-1} - JJ_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 1, 1, 1, x, 0, 0, 0, 0, 0)$$

$$0)のとき$$

$$P_a - P_b = (CC_{k-4} - II_{k-4}) + (HH_{k-3} - II_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (AA_{k-1} - BB_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 1, 1, 1, x, 0, 0, 0, 0, 0)$$

$$1)のとき$$

$$P_a - P_b = (CC_{k-4} - II_{k-4}) + (HH_{k-3} - II_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (BB_{k-1} - CC_{k-1}) + (BB_{k-1} - HH_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 1, 1, 1, x, 0, 0, 1, 1, 1)$$

$$1)のとき$$

$$P_a - P_b = (CC_{k-4} - II_{k-4}) + (HH_{k-3} - II_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (HH_{k-1} - II_{k-1}) + (CC_{k-1} - II_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 1, 1, 1, x, 0, 0, 1, 1, 1)$$

$$1)のとき$$

$$P_a - P_b = (CC_{k-4} - II_{k-4}) + (HH_{k-3} - II_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (HH_{k-1} - II_{k-1}) + (CC_{k-1} - II_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 1, 1, 1, x, 0, 0, 1, 1, 1)$$

$$1)のとき$$

$$P_a - P_b = (CC_{k-4} - II_{k-4}) + (HH_{k-3} - II_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (HH_{k-1} - II_{k-1}) + (CC_{k-1} - II_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 1, 1, 1, x, 0, 0, 1, 1, 1)$$

$$1)のとき$$

$$P_a - P_b = (CC_{k-4} - II_{k-4}) + (HH_{k-3} - II_{k-3}) + (CC_{k-2} - EE_{k-2}) + (HH_{k-1} - II_{k-1}) + (CC_{k-1} - II_{k-1})$$

$$(C_{k-4}, C_{k-7}, C_{k-8}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 1, 1, 1, x, 0, 0, 1, 1, 1)$$

$$1)のとき$$

【0129】ここで、 $AA_k, BB_k, CC_k, DD_k, EE_k, FF_k, GG_k, HH_k, II_k, JJ_k$ は以下の式で表される。

... (23)

【0130】

$$\begin{aligned} A_k &= (y_k - 0)^2 \\ C_k &= (y_k - (C_0 + C_1))^2 \\ E_k &= (y_k - (C_0 + C_1 + C_2))^2 \\ G_k &= (y_k - (C_0 + 2 \times C_1 + C_2))^2 \\ H_k &= (y_k - (C_0 + 2 \times C_1))^2 \\ J_k &= (y_k - (2 \times C_0 + C_1 + C_2))^2 \end{aligned}$$

【0131】復号結果 c_k から式(23)をみたす $|P a - P b| - (2 \times C_0^2 + 2 \times C_1^2 + C_2^2)$ を求め、その分布から標準偏差 σ と平均値 $P a v e$ を求め、その分布が正規分布であると仮定すると、誤りを起こす確率は式(24)で表される。したがって標準偏差 σ と平均値 $P a v e$ *10

$$P(c, P a v e) = \frac{P a v e}{\sigma} \exp\left(-\frac{P a v e^2}{\sigma^2}\right)$$

【0133】このようにして、最小極性反転間隔が2である記録符号が用いられるとともにPR (C0, C1, C2, C1, C0)等化が適用されている場合にも、所定の状態遷移をとるバスの所定の期間における値からしさの差 $|P a - P b|$ に基づいて、再生信号の品質を評価することができ。【0134】(実施形態2)以下、上記に示したPR (1, 2, 2, 1)等化を用いるPRML方式によって復号を行なう場合における各状態の値からしさ、および復号の信頼性 $P a - P b$ を計算する方法の具体例について詳細に説明する。

【0135】前述のように、PR (1, 2, 2, 1)等化を用いる場合、図4に示すようなトレリス線図が得られる。ここで、各状態 $S_0 \sim S_5$ の時刻 $k-1$ での所定の状態の値からしさ $L_{k-1}^{**} \sim L_{k-1}^{**}$ と、時刻 k での実際のサンプル値 y_k を用いて以下の式(25)で表される。なお、以下の式における演算子 $\min(x, y, z)$ は、 x, y, z のうち小さい方を選択するものとする。

【0136】

$$\begin{aligned} L_k^{**} &= \min[L_{k-1}^{**} + (y_k + 3)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 2)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 1)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 0)^2 / 2 - y_k^2 / 2] \\ L_k^{**} &= \min[L_{k-1}^{**} + (y_k + 3)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 2)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 1)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 0)^2 / 2 - y_k^2 / 2] \\ L_k^{**} &= \min[L_{k-1}^{**} + (y_k + 3)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 2)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 1)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 0)^2 / 2 - y_k^2 / 2] \\ L_k^{**} &= \min[L_{k-1}^{**} + (y_k + 3)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 2)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 1)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 0)^2 / 2 - y_k^2 / 2] \end{aligned}$$

【0138】

※

$$\begin{aligned} L_k^{**} &= \min[L_{k-1}^{**} + (y_k + 3)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 2)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 1)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 0)^2 / 2 - y_k^2 / 2] \\ L_k^{**} &= \min[L_{k-1}^{**} + (y_k + 3)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 2)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 1)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 0)^2 / 2 - y_k^2 / 2] \\ L_k^{**} &= \min[L_{k-1}^{**} + (y_k + 3)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 2)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 1)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 0)^2 / 2 - y_k^2 / 2] \\ L_k^{**} &= \min[L_{k-1}^{**} + (y_k + 3)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 2)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 1)^2 / 2 - y_k^2 / 2, L_{k-1}^{**} + (y_k + 0)^2 / 2 - y_k^2 / 2] \end{aligned}$$

【0139】この式(26)を展開すると、下記の式(27)が40★【0140】得られる。

★

$$\begin{aligned} L_k^{**} &= \min[L_{k-1}^{**} + 3y_k + 9/2, L_{k-1}^{**} + 2y_k + 2] \\ L_k^{**} &= \min[L_{k-1}^{**} + 2y_k - 2, L_{k-1}^{**} + y_k + 1/2] \\ L_k^{**} &= \min[L_{k-1}^{**} + 2y_k - 2, L_{k-1}^{**} + y_k + 1/2] \\ L_k^{**} &= \min[L_{k-1}^{**} + 3y_k + 9/2, L_{k-1}^{**} - 2y_k + 2] \\ L_k^{**} &= \min[L_{k-1}^{**} - 2y_k - 2, L_{k-1}^{**} - y_k + 1/2] \\ L_k^{**} &= \min[L_{k-1}^{**} - 2y_k - 2, L_{k-1}^{**} - y_k + 1/2] \end{aligned}$$

【0141】ここで、 $A_k, B_k, C_k, E_k, F_k, G_k$ を50 $A_k = 3y_k + 9/2 = (y_k - th4) \times (y_k - th5) + (y_k - th6)$ 以下のように定義する。

【0142】

$$A_k = 3y_k + 9/2 = (y_k - th4) \times (y_k - th5) + (y_k - th6)$$

$$\begin{aligned} B_k &= 2y_k - 2 = (y_k - th4) \times (y_k - th5) \\ C_k &= y_k + 1/2 = (y_k - th4) \\ E_k &= -y_k + 1/2 = (th3 - y_k) \\ F_k &= -2y_k + 2 = (th3 - y_k) \times (th2 - y_k) \\ G_k &= -3y_k + 9/2 = (th3 - y_k) \times (th2 - y_k) \times (th1 - y_k) \end{aligned}$$

【0143】なお、 $th1=5/2, th2=3/2, th3=1/2, th4=-1/2, th5=-3/2, th6=-5/2$ を満たすものとする。

【0144】このようにして $L_k^{**} \sim L_k^{**}$ を上記(27)式に従って求めるようにして、時刻 k でサンプル値 y_k が検出された場合に、理想値とサンプル値との差の2乗の計算を行なわずとも、 $A_k \sim G_k$ に示されるような単純な乗算および加算によって値からしさ $L_k^{**} \sim L_k^{**}$ を求めることが可能である。従って、回路構成を複雑にせず、済むという利点が得られる。

【0145】さらに実施形態1で説明したように、2つの取り得る状態遷移列(バスAおよびバスB)の値からしさの差 $|P a - P b|$ を求めることで信号品質を評価することが可能であるが、この $P a - P b$ を求める計算も2乗の計算を含まない比較的簡単なものとすることができる。以下、 $P a - P b$ の求め方を具体的に説明する。

【0146】例えば、実施形態1で説明したように、PR (1, 2, 2, 1)等化が適用されている場合、ユーリッド距離が最小となるバスAおよびバスBについて $P a - P b$ を求めることが望ましい。すなわち、表2に示した状態遷移のうち、 $P a = 0$ または $P b = 0$ のときに $P a - P b$ が±10をとる8通りの状態遷移が生じている場合に $P a - P b$ を求めることが望ましい。

【0147】例えば、上記8通りの状態遷移のうち $S_0 \rightarrow S_4$ の遷移について $P a - P b$ を求める場合について説明する。この場合、バスAは、 $S_0 \rightarrow S_0 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_4$ を遷移し、バスBは、 $S_0 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4$ を遷移する。このときバスAの値からしさ $P a$ は $(y_{S_0} + 3)^2 / 2 + (y_{S_1} + 2)^2 / 2 + (y_{S_2} + 0)^2 / 2 + (y_{S_3} - 1)^2 / 2 + (y_{S_4} - 2)^2 / 2$ で表される。また、バスBの値からしさ $P b$ は $(y_{S_0} + 2)^2 / 2 + (y_{S_1} + 0)^2 / 2 + (y_{S_2} - 2)^2 / 2 + (y_{S_3} - 2)^2 / 2 + (y_{S_4} - 2)^2 / 2$ で表される。

【0148】このとき、 $P a - P b$ は上述の $A_k \sim G_k$ を用いて表すことが可能である。具体的には、 $P a - P b = (A_{S_0} - B_{S_0}) + (A_{S_1} - B_{S_1}) + (E_{S_2} - F_{S_2}) + (A_{S_3} - B_{S_3})$ と表される。このように本実施形態によれば、 $P a - P b$ は、サンプル値 y_k と設定値 $th1 \sim th6$ との単純な加減算で求められる $A_k \sim G_k$ を用いて表されるため、2乗の演算などを行なう必要がなく、比較的容易に求めることができる。従って、回路構成を複雑にしないという利点が得られる。

【0149】なお、上記には遷移 $S_{k-1} \rightarrow S_k$ についての $P a - P b$ の求め方を説明したが、他の遷移についての $P a - P b$ も同様に、上記の $A_k \sim G_k$ を用いて表すこ

とが可能である。以下にこれらを示す。
【0150】状態遷移 $S_{0, k} \rightarrow S_{3, k}$ の場合、
 $P a - P b = (A_{S_0} - B_{S_0}) + (B_{S_3} - F_{S_3}) + (F_{S_3} - G_{S_3})$

状態遷移 $S_{2, k} \rightarrow S_{0, k}$ の場合、
 $P a - P b = (E_{S_2} - F_{S_2}) - (F_{S_0} + B_{S_0} + (A_{S_0} - B_{S_0}))$
状態遷移 $S_{2, k} \rightarrow S_{1, k}$ の場合、
 $P a - P b = (E_{S_2} - F_{S_2}) - (F_{S_1} + B_{S_1} + (B_{S_1} - C_{S_1}))$

状態遷移 $S_{5, k} \rightarrow S_{4, k}$ の場合、
 $P a - P b = (B_{S_5} - C_{S_5}) + (B_{S_4} - F_{S_4} + (E_{S_4} - F_{S_4}))$

状態遷移 $S_{5, k} \rightarrow S_{3, k}$ の場合、
 $P a - P b = (B_{S_5} - C_{S_5}) + (B_{S_3} - F_{S_3} + (F_{S_3} - G_{S_3}))$

状態遷移 $S_{3, k} \rightarrow S_{0, k}$ の場合、
 $P a - P b = (F_{S_3} - G_{S_3}) - (F_{S_0} + B_{S_0} + (A_{S_0} - B_{S_0}))$

状態遷移 $S_{3, k} \rightarrow S_{1, k}$ の場合、
 $P a - P b = (F_{S_3} - G_{S_3}) - (F_{S_1} + B_{S_1} + (B_{S_1} - C_{S_1}))$

【0151】(実施形態3)以下、図7を参照しながら、PRML方式で再生信号の復号を行なう光ディスク装置100を説明する。

【0152】光ディスク装置100において、光ディスク8から光ヘッド50によって読み出された再生信号はプリアンプ9によって増幅され、ACカップリングされたのちAGC(automatic gain controller)10に入力される。AGC10では後段の波形等化器11の出力が所定の振幅となるようゲインが調整される。AGC10から出力された再生信号は、波形等化器11によって波形状形される。波形状形された再生信号は、PLL回路12とA/D変換器13とに出力される。

【0153】PLL回路12は再生信号に同期する再生クロックを生成する。なお、このPLL回路12は、図1に示した従来のPLL回路(位相比較器5、LPF6およびVCO7で構成される回路)と同様の構成を有している。また、A/D変換器13は、PLL回路12から出力された再生クロックと同期して再生信号のサンプリングを行なう。このようにして得られたサンプルデータはA/D変換器13からデジタルフィルタ14に出力される。

【0154】デジタルフィルタ14は、記録再生系の周波数特性がビタビ回路15の想定する特性(本実施形態ではPR(1,2,2,1)等化特性)となるように設定された周波数特性をもつ。このデジタルフィルタ14から出力されたデータは、最尤復号を行なうビタビ回路15に入力される。ビタビ回路15は、PR(1,2,2,1)等化された信号を最尤復号方式で復号することによって2値化デー

タを出力する。

【0155】また、ビタビ回路15からは、復号された2値化データとともに、時刻ごとのユークリッド距離の計算結果(プランチメトリックが、差分メトリック解析器16へと出力される。差分メトリック解析器16は、ビタビ回路15から得られた2値化データから状態遷移を判別し、この判別結果とプランチメトリックによって復号結果の信頼性を示すPa-Pbを求める。これによって復号結果の誤り率を推定することができる。

【0156】以下、図8を参照しながら、ビタビ回路15および差分メトリック解析器16について詳細に説明する。図8は、ビタビ回路15および差分メトリック解

$$A_n = (y_n - 0)^2, B_n = (y_n - 1)^2, C_n = (y_n - 2)^2, D_n = (y_n - 3)^2, \\ E_n = (y_n - 4)^2, F_n = (y_n - 5)^2, G_n = (y_n - 6)^2$$

【0158】このようにして計算されたプランチメトリックは、加算/比較/選択回路18に入力される。入力された時刻kでのプランチメトリックと時刻k-1での各状態の確からしさ(メトリック値)とから、時刻kでの各状態の確からしさが式(29)で表される。なお、miはxxx, zzzは、xxxまたはzzzのうちの小さい方の値を選択する整数である。

$$\begin{aligned} L_{k+1}^{00} &= \min[L_{k-1}^{00} + A_k, L_{k-1}^{01} + B_k] \\ L_{k+1}^{01} &= \min[L_{k-1}^{00} + B_k, L_{k-1}^{01} + C_k] \\ L_{k+1}^{10} &= L_{k-1}^{11} + D_k \\ L_{k+1}^{11} &= \min[L_{k-1}^{10} + C_k, L_{k-1}^{11} + F_k] \\ L_{k+1}^{12} &= \min[L_{k-1}^{10} + F_k, L_{k-1}^{11} + B_k] \\ L_{k+1}^{13} &= L_{k-1}^{14} + D_k \end{aligned}$$

【0160】時刻kでのメトリック値 $L_{k+1}^{00} \sim L_{k+1}^{13}$ は、レシ

$$\begin{aligned} L_{k+1}^{00} + A_k &\geq L_{k+1}^{01} + B_k & : \text{Sel0} = '1' \\ L_{k+1}^{00} + A_k &< L_{k+1}^{01} + B_k & : \text{Sel0} = '0' \\ L_{k+1}^{10} + B_k &\geq L_{k+1}^{11} + C_k & : \text{Sel1} = '1' \\ L_{k+1}^{10} + B_k &< L_{k+1}^{11} + C_k & : \text{Sel1} = '0' \\ L_{k+1}^{12} + C_k &\geq L_{k+1}^{13} + F_k & : \text{Sel2} = '1' \\ L_{k+1}^{12} + C_k &< L_{k+1}^{13} + F_k & : \text{Sel2} = '0' \\ L_{k+1}^{14} + F_k &\geq L_{k+1}^{15} + E_k & : \text{Sel3} = '1' \\ L_{k+1}^{14} + F_k &< L_{k+1}^{15} + E_k & : \text{Sel3} = '0' \end{aligned} \quad \dots (30)$$

【0162】バスメモリ20は、入力された制御信号に基づいて状態遷移則に従う最も確からしい状態遷移を選択することができる。この推定された状態遷移列に対応する2値化データ a_k を出力する。

【0163】一方、再生信号の品質の評価を行なうために、プランチメトリック演算回路17から出力されたプランチメトリックは遅延回路21に入力され、加算/比較/選択回路18およびバスメモリ20における信号処理時間分だけ遅延された後に差分メトリック演算器22に出力される。また、バスメモリ20から出力された2値化データ a_k は状態遷移検出器23に入力され、ここに

プランチメトリックを用いることなく求められ得る。従って、このような場合には、デジタルフィルタ14から出力されたサンプル値 y_k を遅延回路21のみを介して直接的に差分メトリック演算器22に入力するような回路構成を採用すればよい。差分メトリック演算器22では、実施形態2で説明したような方法に従って、サンプル値 y_k からPa-Pbが求められる。

【0165】このようにして計算された、検出された所定の状態遷移についてのPa-Pbの値は、平均値/標準偏差演算器24に入力される。平均値/標準偏差演算器24は入力されたPa-Pbの分布の平均値と標準偏差を求め、これらの2つの値(すなわち、平均値 P_{ave} および標準偏差 σ_{av})を出力する。なお、ここで出力される平均値 P_{ave} および標準偏差 σ_{av} は、2つのバスのユークリッド距離が最小値をとる(すなわち、パスを認める可能性が高い)所定の状態遷移についての値である。式(31)に基づいて、平均値 P_{ave} および標準偏差 σ_{av} から再生信号の誤り率を推定することができる。すなわち、平均値/標準偏差演算器24から得られた標準偏差、平均値は、誤り率と相関のある再生信号品質を示す指標として用いられる。なお、上述したように、平均値がゼロに近い値を取ると予想されるため、 P_{ave} をゼロと見なし誤り率を求めるようにしてもよい。

【0166】以上、図7に示す構成を有する光ディスク装置100について説明したが、光ディスク装置は、図10に示すようにPLL回路におけるクロック再生のために適切な等化特性を有する波形等化器B28をさらに備えるような構成を有していても良い。この場合にも、図7に示した光ディスク装置100と同様に標準偏差、平均値を求めることができ、これにより再生信号の品質を評価することができる。また、このようにクロック再生に適した波形整形を行なう波形等化器と、PRML復号方式に適した波形整形を行なう波形等化器とを別個に設けることで、好ましい再生クロック信号を生成できるとともに、PRML方式での復号の正確性を向上させることができる。なお、このような2以上の波形等化器を用いる光ディスク装置は、本願出願人と同一の出願人によって出願された米国特許出願番号第09/996,843号を引用する。本明細書においてこの米国特許出願番号第09/996,843号を引用する。

【0167】また、図11に示すように、A/D変換器13の出力(デジタル信号)から再生クロックを生成するようにしてもよい。この場合にも、図7に示した光ディスク装置100と同様に標準偏差、平均値を求めることができ、これにより再生信号の品質を評価することができる。

【0168】また、上述のように差分メトリック解析器16から出力されるPa-Pbの分布の標準偏差 σ 、平

均値 P_{ave} を指標として用いて再生信号の品質を評価することができるが、この指標(標準偏差 σ および平均値 P_{ave})に基づいて再生信号品質を改善する制御を行なうことも可能である。例えば、図12に示すように、周波数特性制御手段29を用いて、差分メトリック解析器16から出力される平均値が0となるように、あるいは、標準偏差が最小となるように波形等化器11の周波数特性を変化することで再生信号品質を改善することができ、また、情報を記録することが可能な光ディスク装置においては、差分メトリック解析器16から出力される平均値が0となるように、あるいは標準偏差が最小となるように、記録パワーや記録補償値を制御することによって記録パラメータの最適化を行うことができる。

【0169】(実施形態4)次に、図13を参照しながら本発明の実施形態4にかかる光ディスク装置を説明する。

【0170】本実施形態では、差分メトリック解析器160は、上述の式(14)によって規定されるPRML誤差指標MLSA ($M = \sigma / 2 \cdot d_{av}$) を出力するように構成されている。なお、PRML誤差指標MLSAは、最も確からしい状態遷移列と再生信号との標準偏差(平均二乗誤差) σ を、当該状態遷移列と2番目に確からしい状態遷移列とのユークリッド距離で除算することによって求められる。PRML誤差指標MLSAは、PRMLを用いた場合の再生信号品質を好適に評価することができる指標である。

【0171】差分メトリック解析器160から出力される誤差指標MLSAは、周波数特性制御手段290に供給される。周波数特性制御手段290は、この誤差指標MLSAが最小になるように、波形等化器の特性(例えば、プースト量やプースト中心周波数)を最適化する。例えば、プースト量を微少量変化させ、変化前後のポリリットにおけるPRML誤差指標MLSAを比較して、よりMLSAが小さくなるほうのプースト量を選択する。このような動作を繰り返すことにより波形等化器の特性が最適化され、PRML誤差指標MLSAを最小値に収束させることができる。

【0172】また、図14に示すように、差分メトリック解析器160によって生成されたPRML誤差指標MLSAを、フォーカスオフセット探索手段291に供給するようにしてもよい。信号再生時、光ヘッド50が射出するビームスポットが常に光ディスク8の情報記録面付近を走査し得るようにフォーカスサーボ制御が行なわれる。このフォーカスサーボ制御は、サーボアンプ91によって検出されたフォーカス誤差信号が、引算器92を介して所定目標値X0になるように光ヘッド50のフォーカスアクチュエータ(不図示)をフィードバック制御することによって実行される。ここで、フォーカスオフセット探索手段291が、所定目標値X0としてPRML誤

プランチメトリックを用いることなく求められ得る。従って、このような場合には、デジタルフィルタ14から出力されたサンプル値 y_k を遅延回路21のみを介して直接的に差分メトリック演算器22に入力するような回路構成を採用すればよい。差分メトリック演算器22では、実施形態2で説明したような方法に従って、サンプル値 y_k からPa-Pbが求められる。

【0165】このようにして計算された、検出された所定の状態遷移についてのPa-Pbの値は、平均値/標準偏差演算器24に入力される。平均値/標準偏差演算器24は入力されたPa-Pbの分布の平均値と標準偏差を求め、これらの2つの値(すなわち、平均値 P_{ave} および標準偏差 σ_{av})を出力する。なお、ここで出力される平均値 P_{ave} および標準偏差 σ_{av} は、2つのバスのユークリッド距離が最小値をとる(すなわち、パスを認める可能性が高い)所定の状態遷移についての値である。式(31)に基づいて、平均値 P_{ave} および標準偏差 σ_{av} から再生信号の誤り率を推定することができる。すなわち、平均値/標準偏差演算器24から得られた標準偏差、平均値は、誤り率と相関のある再生信号品質を示す指標として用いられる。なお、上述したように、平均値がゼロに近い値を取ると予想されるため、 P_{ave} をゼロと見なし誤り率を求めるようにしてもよい。

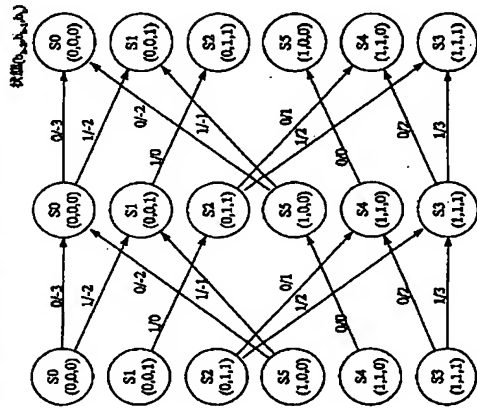
【0166】以上、図7に示す構成を有する光ディスク装置100について説明したが、光ディスク装置は、図10に示すようにPLL回路におけるクロック再生のために適切な等化特性を有する波形等化器B28をさらに備えるような構成を有していても良い。この場合にも、図7に示した光ディスク装置100と同様に標準偏差、平均値を求めることができ、これにより再生信号の品質を評価することができる。また、このようにクロック再生に適した波形整形を行なう波形等化器と、PRML復号方式に適した波形整形を行なう波形等化器とを別個に設けることで、好ましい再生クロック信号を生成できるとともに、PRML方式での復号の正確性を向上させることができる。なお、このような2以上の波形等化器を用いる光ディスク装置は、本願出願人と同一の出願人によって出願された米国特許出願番号第09/996,843号を引用する。本明細書においてこの米国特許出願番号第09/996,843号を引用する。

【0167】また、図11に示すように、A/D変換器13の出力(デジタル信号)から再生クロックを生成するようにしてもよい。この場合にも、図7に示した光ディスク装置100と同様に標準偏差、平均値を求めることができ、これにより再生信号の品質を評価することができる。

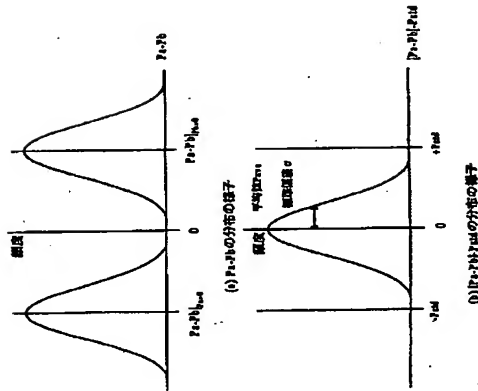
【0168】また、上述のように差分メトリック解析器16から出力されるPa-Pbの分布の標準偏差 σ 、平

【図4】

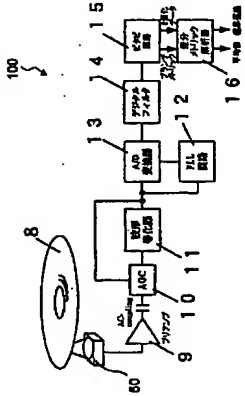
最小極性反転間隔2・PR(1,2,2,1)のトレリス線図



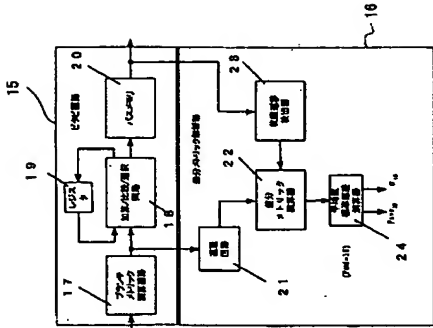
【図6】



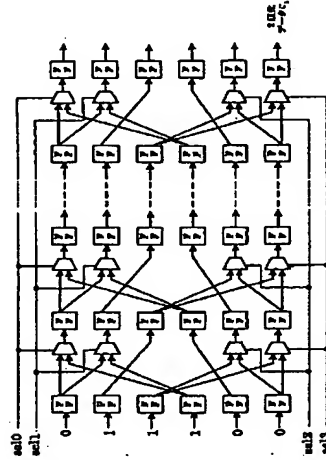
【図7】



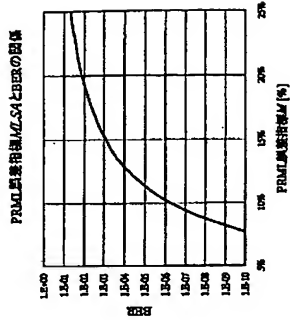
【図8】



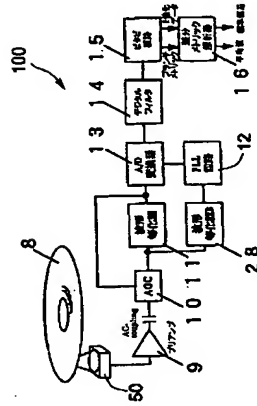
【図9】



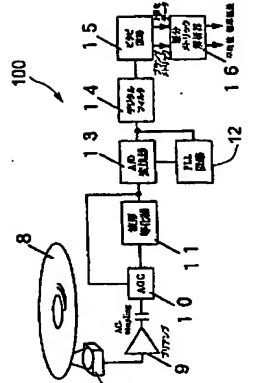
【図16】



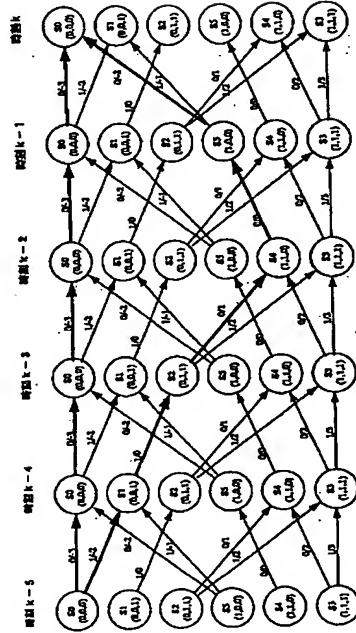
【図10】



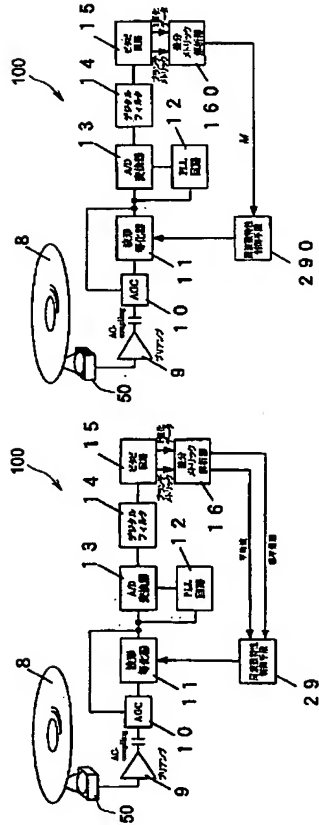
【図11】



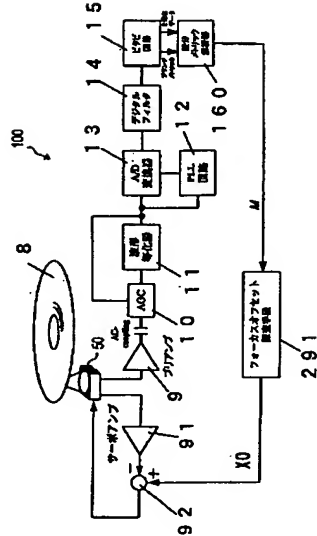
【図5】



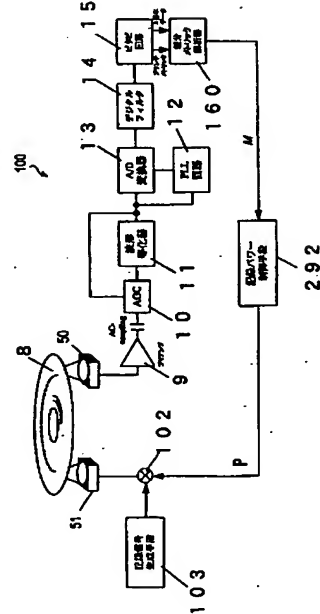
【図12】



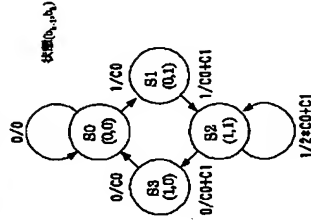
【図14】



【図15】



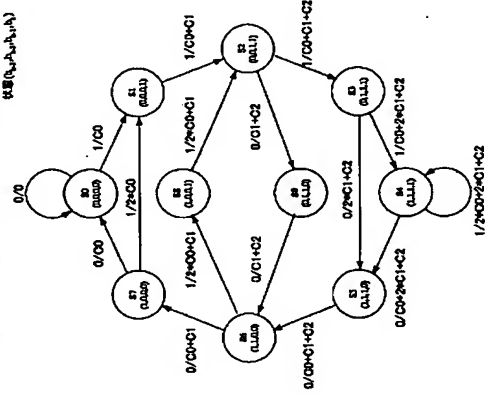
【図17】



【図18】

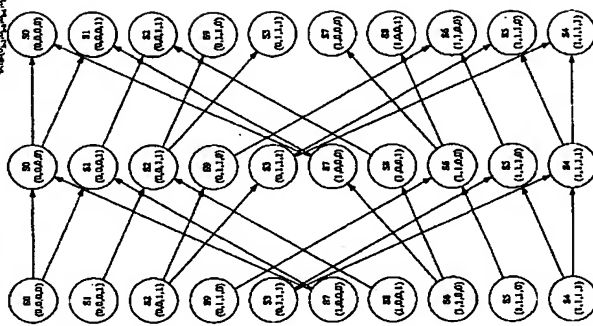
最小極性反転間隔2 + PR(C0,C1,C0)の状態遷移図

【図19】



【図20】

最小極性反転間隔2 + PR(C0,C1,C2,C1,C0)の状態遷移図



フロントページの続き

| | | | |
|----------------------------------|---|--------------|-----------|
| (51)Int. Cl. ⁷ | 識別記号 | F 1 | キーワード(参考) |
| G 11 B 20/10 | 3 2 1 | G 11 B 20/10 | 3 2 1 A |
| | 3 4 1 | | 3 4 1 B |
| (72)発明者 古宮 成 | (72)発明者 石橋 広通 | | |
| 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内 | 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内 | | |
| | Fターム(参考) 5D044 BC01 BC02 CC04 FG01 FG02 FG05 GK18 GL32 | | |

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第4区分

【発行日】平成17年10月13日(2005.10.13)

【公開番号】特開2003-141823(P2003-141823A)

【公開日】平成15年5月16日(2003.5.16)

【出願番号】特願2002-196099(P2002-196099)

【国際特許分類第7版】

G11B 20/18

G11B 20/10

【F1】

G11B 20/18 550C

G11B 20/18 501C

G11B 20/18 501F

G11B 20/18 520C

G11B 20/18 534A

G11B 20/10 321A

G11B 20/10 341B

【手続補正書】

【提出日】平成17年6月10日(2005.6.10)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

時刻 $k-j$ (k は3以上の整数、 j は2以上の整数)における第1状態 S_{k-j} から時刻 k における第2状態 S_k へと遷移する n (n は2以上の整数)通りの状態遷移列のうちから最も確からしい状態遷移列を選択する最尤復号方式によって再生信号の復号を行なう場合における、前記復号された信号の品質評価方法であって、

前記時刻 $k-j$ から時刻 k までの前記 n 通りの状態遷移列を規定する前記第1状態 S_{k-j} と前記第2状態 S_k との所定の組み合わせを検出する工程と、

前記検出された前記所定の組み合わせによって規定される前記 n 通りの状態遷移列のうち最も確からしい第1の状態遷移列の前記所定の期間 j における状態遷移の確からしさを表す指標を P_a とし、2番目に確からしい第2の状態遷移列の前記所定の期間 j における状態遷移の確からしさを示す指標を P_b とすると、 $|P_a - P_b|$ を用いて前記時刻 $k-j$ から時刻 k までの復号結果の信頼性を判断する工程とを包含する再生信号品質評価方法。

【請求項2】

前記 P_a は、前記所定の期間 j における前記第1の状態遷移列が示す期待値と実際のサンプル値との差に基づいて規定され、前記 P_b は、前記所定の期間 j における前記第2の状態遷移列が示す期待値と前記実際のサンプル値との差に基づいて規定される請求項1に記載の再生信号品質評価方法。

【請求項3】

前記 P_a は、前記所定の期間 j における、前記第1の状態遷移列が示す時刻 $k-j+1$ から時刻 k までの期待値 $l_{k-j+1}, \dots, l_{k-1}, l_k$ と前記実際のサンプル値 $y_{k-j+1}, \dots, y_{k-1}, y_k$ との差の2乗の累積値に対応し、前記 P_b は、前記第2の状態遷移列が示す時刻 $k-j+1$ から時刻 k までの期待値 $m_{k-j+1}, \dots, m_{k-1}, m_k$ と前記実際の

のサンプル値 $y_{k-j+1}, \dots, y_{k-1}, y_k$ との差の2乗の累積値に対応する請求項2に記載の再生信号品質評価方法。

【請求項4】

$n=2$ である請求項1に記載の再生信号評価方法。

【請求項5】

前記第1の状態遷移列と前記第2の状態遷移列とのユークリッド距離は最小値を有する請求項1に記載の再生信号品質評価方法。

【請求項6】

前記 $|P_a - P_b|$ を複数回測定することによって、前記復号結果の信頼性のパラツキを判断する工程をさらに包含する請求項1に記載の再生信号品質評価方法。

【請求項7】

前記信頼性のパラツキは、前記 $|P_a - P_b|$ の分布の標準偏差を用いて示される請求項6に記載の再生信号品質評価方法。

【請求項8】

前記信頼性のパラツキは、前記 $|P_a - P_b|$ の標準偏差と前記 $|P_a - P_b|$ の分布の平均値とを用いて示される請求項6に記載の再生信号品質評価方法。

【請求項9】

前記 $|P_a - P_b|$ が所定の値を超える頻度を検出することによって前記復号結果の信頼性のパラツキを判断する請求項6に記載の再生信号品質評価方法。

【請求項10】

記録符号の最小極性反転間隔が2であり、かつ、 $PR(C0, C1, C0)$ 等化された再生信号を復号することを特徴とする請求項1に記載の再生信号評価方法。

【請求項11】

記録符号の最小極性反転間隔が2であり、かつ、 $PR(C0, C1, C1, C0)$ 等化された再生信号を復号することを特徴とする請求項1に記載の再生信号評価方法。

【請求項12】

記録符号の最小極性反転間隔が2であり、かつ、 $PR(C0, C1, C2, C1, C0)$ 等化された再生信号を復号することを特徴とする請求項1に記載の再生信号評価方法。

【請求項13】

前記 $|P_a - P_b|$ を計算するとき、前記実際のサンプル値の2乗の計算を行なわないことを特徴とする前記請求項2または3に記載の再生信号評価方法。

【請求項14】

再生信号の振幅値を調整するゲインコンローラと、所定の等化特性となるように前記再生信号を波形整形する波形等化器と、前記再生信号と同期がとられた再生クロックを生成する再生クロック生成回路と、前記再生信号を前記再生クロックでサンプリングを行なうことによってサンプリングデータを生成し、前記サンプリングデータを出力するA/D変換器と、前記サンプリングデータから最も確からしいデジタル情報を復号する最尤検出器と、前記最尤検出器において最も確からしいと判断された第1の状態遷移列の所定の期間における状態遷移の確からしさを表す指標を P_a とし、2番目に確からしい第2の状態遷移列の前記所定の期間における状態遷移の確からしさを示す指標を P_b とするとき、 $|P_a - P_b|$ を算出する差分メトリック演算器とを備える情報再生装置。

【請求項15】

前記波形等化器とは異なる所定の等化特性となるように波形整形を行なう追加の波形等化器を更に備え、

前記再生クロックは、前記追加の波形等化器によって波形整形された再生信号から生成される請求項14に記載の情報再生装置。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0023
【補正方法】変更
【補正の内容】
【0023】

ある好ましい実施形態において、前記Paは、前記所定の期間jにおける、前記第1の状態遷移列が示す時刻k-j+1から時刻kまでの期待値 $l_{k-j+1}, \dots, l_{k-1}, l_k$ と前記実際のサンプル値 $y_{k-j+1}, \dots, y_{k-1}, y_k$ との差の2乗の累積値に対応し、前記Pbは、前記第2の状態遷移列が示す時刻k-j+1から時刻kまでの期待値 $m_{k-j+1}, \dots, m_{k-1}, m_k$ と前記実際のサンプル値 $y_{k-j+1}, \dots, y_{k-1}, y_k$ との差の2乗の累積値に対応する。

【手続補正3】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】0078
【補正方法】変更
【補正の内容】
【0078】

上述のように誤り率は標準偏差 σ_{10} を用いて予測され得るが、例えば、以下の式(14)で定義されるPRML誤差指標MLSA (Maximum Likelihood Sequence Amplitude) を信号品質(誤り率)を示す指標として用いてもよい。

【手続補正4】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】0082
【補正方法】変更
【補正の内容】
【0082】

なお、これまでに、一般的なPR (C0, C1, C1, C0) 等化 (C0, C1) をS1_k、状態S (1,1)))) をS2_k、状態S (1,0))) をS3_kというように表記する。この場合の状態遷移は図17に示す状態遷移図で示され、また、これを時間軸に関して展開すると図18に示すトレリス図が得られる。

【手続補正5】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】0090
【補正方法】変更
【補正の内容】
【0090】

簡単のために時刻kでの状態S (0,0))) をS0_k、状態S (0,1))) をS1_k、状態S (1,1))) をS2_k、状態S (1,0))) をS3_kというように表記する。この場合の状態遷移は図17に示す状態遷移図で示され、また、これを時間軸に関して展開すると図18に示すトレリス図が得られる。

【手続補正6】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】0092
【補正方法】変更
【補正の内容】
【0092】

【表5】
2つの遷移をとりうる状態遷移と対応するパス

| 状態遷移 | パスAの記録符号 (b _{k-1} , ..., b _k) | パスBの記録符号 (b _{k-1} , ..., b _k) |
|-------------------------------------|---|---|
| S0 _{k+3} → S2 _k | (0,0,0,1,1) | (0,0,1,1,1) |
| S2 _{k+3} → S0 _k | (1,1,0,0,0) | (1,1,1,0,0) |
| S0 _{k+4} → S0 _k | (0,0,0,0,0) | (0,0,1,1,0,0) |
| S2 _{k+4} → S2 _k | (1,1,0,0,1,1) | (1,1,1,1,1,1) |
| S0 _{k+5} → S0 _k | (0,0,0,1,1,0,0) | (0,0,1,1,0,0,0) |
| S2 _{k+5} → S2 _k | (1,1,0,0,0,1,1) | (1,1,1,0,0,1,1) |

【手続補正7】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】0099
【補正方法】変更
【補正の内容】
【0099】
【表6】

2つの遷移をとりうる状態遷移と対応するパス

| 状態遷移 | パスAの記録符号 (b _{k-4} , b _{k-3} , b _{k-2} , b _{k-1} , b _k) | パスBの記録符号 (b _{k-4} , b _{k-3} , b _{k-2} , b _{k-1} , b _k) |
|-------------------------------------|---|---|
| S0 _{k+3} → S2 _k | (0,0,0,1,1) | (0,0,1,1,1) |
| S2 _{k+3} → S0 _k | (1,1,0,0,0) | (1,1,1,0,0) |

【手続補正8】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】0125
【補正方法】変更
【補正の内容】
【0125】

白色のノイズが伝送路に重畳された場合を考えると、誤りをもっとも起こしうる状態遷移はパスAとパスBのユークリッド距離が最小となるものとなり、以下の表11に示す18通りの状態遷移が挙げられる。

【手続補正9】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】0127
【補正方法】変更
【補正の内容】
【0127】

上記18通りの状態遷移のときの符号結果をc_kとし (kは整数)、表11に示す状態遷移における信頼性Pa-Pbをまとめると式(23)が得られる。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.